

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

**ELECTRIFICAÇÃO DE SERVIÇOS PRIMÁRIOS EM POVOADOS
REMOTOS AFRICANOS RECORRENDO A SISTEMAS SOLARES
FOTOVOLTAICOS (PV)**

Ricardo J. Dias Leote

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientador:

Prof. Dr. Mário Ventim Neves

DEE-FCT-UNL

Co-orientador:

Mestre João Murta Pina

DEE-FCT-UNL

Maio, 2009

“Help me to see beyond my needs”

AGRRRADECIMENTOS

A realização desta dissertação só foi possível com o apoio de algumas pessoas, a quem agradeço:

Ao Dr. António Joyce pela incasável colaboração, conhecimentos e cuja orientação deu corpo a este trabalho.

Á Cruz Vermelha de Moçambique, em especial á Dra. Lurdes Mboana e ao Salvador Jorge pela motivação e apoio na recolha dos dados que tornaram este trabalho possível.

Ao Prof. Dr. Ventim Neves por ter acreditado e por me ter dado a oportunidade de abordar esta temática.

Á Sra. Enfermeira Maria do Rosário Athayde pela sua disponibilidade e contributo para este trabalho.

Ao Prof. Dr. Leão Rodrigues, Prof. Dr. Paulo Pinto, Prof. Dra. Ana Sá e Prof. Brandão Moniz por serem referências na minha vida académica.

Aos meus colegas Joana Benard, Rute Duarte, João Silva, Leonardo Canha, Carlos Rebelo, Carlos Nogueira, Bruno Matias, Michael Martins e em especial ao meu colega e amigo Bruno Silva por todo o apoio.

Aos meus pais, á minha família, Hugo Marques, Silas Afonso, João Vasco, Frederico Pereira, Carlos Alvares e Bruno Rodrigues pela amizade.

Á Cláudia Maurício, que nunca esquecerei.

RESUMO

A presente dissertação surge pelo interesse em estudar a adequação do uso de sistemas solares fotovoltaicos na electrificação de serviços primários em povoados remotos nos países Africanos mais carenciados.

A abordagem teórica tem como objectivo principal reflectir sobre a importância destas aplicações intervindo naquelas que são consideradas as maiores dificuldades dos países subdesenvolvidos, ou seja, saneamento básico, serviços de saúde e meios de comunicação adequados. Nesse contexto estuda-se a viabilidade de alimentar com energia eléctrica produzida localmente unidades sanitárias na província de Sofala (Moçambique). O trabalho exigiu por isso um estudo de caso baseado numa dessas unidades.

Mediante a análise das amostras recolhidas para esta investigação elaborou-se através de ferramentas informáticas um dimensionamento e uma modelação adequadas ao sistema fotovoltaico a ser implementado. Os resultados obtidos de acordo com os requisitos da unidade sanitária permitiram dimensionar os elementos do sistema bem como, simular hora a hora o seu funcionamento diário ao longo do ano. Uma vez provada a sua viabilidade incluiu-se ainda neste trabalho um anteprojecto da instalação.

Palavras-chave: Energia solar, sistemas fotovoltaicos, aplicações autónomas, electrificação serviços primários, electrificação rural.

.

ABSTRACT

The availability of electrical resources to primary health care in remote villages located in poor African countries was the subject encouraging the present thesis. Specifically, the suitability of photovoltaic systems is addressed.

The theoretical approach main goal is to reflect upon the importance of such systems in what are considered the undeveloped countries main difficulties *i.e.* basic sanitation, health care and communication networks. Namely the feasibility of supplying locally generated electricity to health units in the province of Sofala (Mozambique) is studied, using a Sofala primary care unit as a case study.

Through the analysis of data collected for this purpose and the use of informatics tools the implementation of a specific photovoltaic system is proposed. The system elements are scaled to the health unit needs and a simulation of its daily operations throughout the year, every hour, is provided. As the photovoltaic system viability was proved, a preliminary study of the installation is incorporated in the thesis.

Keywords: solar power, photovoltaic systems, autonomous electricity supply, primary care electrification, rural electrification

ÍNDICE

INTRODUÇÃO.....	7
1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	9
1.1. Contexto Histórico.....	10
1.2. Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica	12
1.3. Estrutura de um Célula Fotovoltaica.....	12
1.4. Materiais de Conversão	14
1.5. Painel Solar Fotovoltaico.....	18
1.6. Outros Componentes	22
1.6.1. Baterias	22
1.6.2. Regulador de carga	23
1.6.3. Inversor.....	24
1.7. Aplicações e Topologias.....	25
1.8. Modelo Matemático.....	28
2. ELECTRIFICAÇÃO DE SERVIÇOS PRIMÁRIOS EM POVOADOS REMOTOS AFRICANOS	34
2.1. Identificação das Zonas Isoladas no Continente Africano	36
2.2.Principais Políticas Energéticas e o Investimento de Moçambique na Energia Solar Fotovoltaica	38
2.3. Electrificação de Serviços Primários	40
2.3.1. Serviços de saneamento básico.....	41
2.3.2. Serviços de saúde	43
2.3.3. Serviços de comunicação.....	45
3. ESTUDO DE CASO – ELECTRIFICAÇÃO DE UMA UNIDADE SANITÁRIA EM SOFALA ATRAVÉS DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	47
3.1. Amostras.....	47
3.2. Delineamento do Estudo.....	54
3.3. Dimensionamento	57
3.3.1. Exposição Solar de Buzi.....	57
3.3.2. Previsão do Consumo Energético da Unidade Sanitária.....	58
3.3.3.Componentes do Sistemas Solar Fotovoltaico.....	59

3.3.3.1. Módulos fotovoltaicos	60
3.3.3.2. Inversor	61
3.3.3.3. Baterias	62
3.3.3.4. Regulador de carga	63
3.4. Modelação	64
3.4.1. Meteorologia	66
3.4.2. Módulos Fotovoltaicos	70
3.4.3. Corrente Fotovoltaica	73
3.4.4. Banco de Baterias	73
3.4.5. Cargas	77
3.4.6. Inversor	79
3.4.7. Regulador de Carga	81
3.4.8. Análise de Resultados	82
4. ANTEPROJECTO DA INSTALAÇÃO ELÉCTRICA	84
4.1. Memória Descritiva e Justificativa	84
4.1.1. Objectivos	84
4.1.2. Legislação	84
4.1.3. Arquitectura	85
4.1.4. Categoria da instalação	85
4.1.5. Classificação dos locais	85
4.1.6. Alimentação e distribuição de energia	86
4.1.7. Condutores e ligadores	86
4.1.8. Tubagens	87
4.1.9. Aparelhagem eléctrica	87
4.1.10. Iluminação	87
4.1.11. Tomadas	88
4.1.12. Quadro eléctrico	89
4.1.13. Protecção de pessoas	90
4.1.14. Cálculo da potência instalada	91
4.2. Mapa de Medições	93
4.2. Peças Desenhadas	93

5. SÍNTESE CONCLUSIVA	94
6. BIBLIOGRAFIA.....	97
7. ANEXOS	99
7.1. Modelação	100
7.2. Peças Desenhadas	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais momentos da história da tecnologia PV

Tabela 2 – Resumo de rendimento dos principais tipos de células fotovoltaicas

Tabela 3 – Características dos principais tipos de baterias utilizadas

Tabela 4 – Principais características dos inversores utilizados

Tabela 5 – Países que apresentam menor taxa de electrificação em África

Tabela 6 – Instrumentação desejável para a unidade sanitária

Tabela 7 – Luminárias da unidade sanitária

Tabela 8 – Médias diárias da radiação solar horizontal e vertical

Tabela 9 – Resumo de grandezas e características módulo PV

Tabela 10 – Resumo das grandezas e características do banco de baterias

Tabela 11 – Resistência de terra (RT) de acordo com a sensibilidade de corrente do diferencial (ID)

Tabela 12 – Anexos

LISTA DE FIGURAS

- Fig.1** – Luz Solar no seu percurso através da atmosfera
- Fig.2** – Becquerel, Alexandre-Edmond (1820-1891)
- Fig.3** – Fuller , Calvin Souther (1902 – 1994)
- Fig.4** - Esquema geral de funcionamento de uma célula solar:
- Fig.5** – Passagem de banda
- Fig.6** – Célula de silício monocristalino
- Fig.7** – Célula de silício policristalino
- Fig.8** – Células de silício amorfo
- Fig.9** – Tecnologia baseada em substratos flexíveis
- Fig.10** – Materiais PV integrados em edifícios
- Fig.11** – Desenvolvimento de um painel solar PV
- Fig.12** – Esquema de ligações do díodo bypass
- Fig.13** – Esquema de ligações do díodo de bloqueio
- Fig.14** – Curva característica de Corrente vs Tensão e de Potência vs Tensão
- Fig.15** – Sistema ligado à rede
- Fig.16** – Sistema isolado de bombagem
- Fig.17** – Sistema isolado para AC e DC
- Fig.18** – Sistema híbrido
- Fig.19** – Modelo simples
- Fig.20** – Curva característica de I em função de V mostrando a corrente I_{sc} e a tensão V_{oc}
- Fig.21** – Curva característica da potência em função da tensão mostrando o valor de P_{max}
- Fig.22** – Modelo Detalhado
- Fig.23** – Distribuição global da irradiação solar
- Fig.24** - Distribuição global dos países menos desenvolvidos
- Fig.25** – Fontes primarias de energia em África
- Fig.26** – Produção de energia em África
- Fig.27** – Sistema solar fv para serviços de saneamento básico
- Fig.28** – Sistema solar PV protegido
- Fig.29** – Sistema solar PV para unidades sanitárias
- Fig.30** – Sistema solar PV híbrido para Hospital Rural

Fig.31 – Sistema solar PV numa pequena unidade sanitária

Fig.32 – Sistema solar PV fospital rural de Muxungue

Fig.33 – Sistema PV para serviços de comunicação DC

Fig.34 – Sistema PV para serviços de comunicação DC

Fig.35 – US (Sofala) abastecimento de água potável e meios de comunicação através de um sistema solar PV

Fig.36 – Modelo de distribuição da unidade sanitária (Sofala)

Fig.37 – Localização geográfica de Buzi

Fig.38 – Mapa da província de Sofala

Fig.39 – Localização geográfica da Beira

Fig.40 – Modelo de delineamento do estudo de caso das unidades sanitárias de Sofala

Fig.41 – Medias mensais e anuais de temperatura e radiação

Fig.42 – Perfil de carga adequado a um funcionamento médio comum de uma unidade sanitária

Fig.43 – Previsão dos consumos energéticos

Fig.44 – Esquema de ligações do sistema solar fotovoltaico a ser implementado

Fig.45 – Características do sistema

Fig.46 – Simulação dos módulos

Fig.47 – Simulação do inversor

Fig.48 – Especificações do inversor

Fig.49 – Simulação da bateria

Fig.50 – Banco de baterias

Fig.51 – Especificações do regulador de carga

Fig.52 – Simulação (Mod_Beira.xls)

Fig.53 – Curvas PV do manual do fabricante e variação do factor de idealidade

Fig.54 – Código implementado na macro “Actualizar SOC”

Fig.55 – Perfil de carga da unidade sanitária durante um dia normal de funcionamento

Fig.56 – Perfil de carga da unidade sanitária durante o fim de semana, dia de inactividade

Fig.57 – Curva característica do rendimento do inversor em função da potência

Fig.58 – Esquema do regulador de cargas (controlador)

Fig.59 – Análise de resultados

Fig.60 – US (Sofala)

INTRODUÇÃO

“O Sol é a fonte principal das formas de energia que existem no planeta [Professor Leão Rodrigues]”. É dele que, directa ou indirectamente, todas derivam, exceptuando a geotérmica e a nuclear. Se não vejamos, parte da energia solar que atinge a crosta terrestre é convertida em energia química através da fotossíntese, podendo depois ser utilizada através da combustão da matéria orgânica vegetal ou convertida noutras formas de energia como biocombustíveis, energia eléctrica ou energia calorífica. Os combustíveis fósseis, tais como o petróleo, o carvão e o gás natural, resultam do processamento da matéria orgânica vegetal durante milhões de anos, a qual teve como fonte de energia inicial a radiação solar. Associado a um conjunto de factores, o Sol, condiciona as movimentações da atmosfera e a evaporação, estando por isso na origem do vento, das chuvas e da ondulação marítima, usados como recurso na obtenção de energia eléctrica. Utilizando o Sol como fonte directa de energia, o aproveitamento solar dos sistemas fotovoltaicos (PV), apresenta-se actualmente como uma das tecnologias de produção mais promissoras no sector das energias renováveis. As razões surgem, por um lado, associadas à industrialização da produção dos painéis, que permitiu sucessivas reduções nos seus custos, por outro ao aumento mundial da procura destes sistemas pelas suas variadas aplicações e também pelo recurso, amplamente disponível.

Esta dissertação está dividida em quatro capítulos e três anexos:

- Num **primeiro capítulo** interessa abordar como foi descoberto o princípio da energia solar PV e percorrer todo um percurso histórico que conta com mais de um século, desde que Edmund Becquerel o observou pela primeira vez. Será apresentada uma explicação detalhada do funcionamento da célula PV, bem como, a forma como é constituído um módulo solar PV, os materiais de conversão e as topologias e aplicações que advêm do seu aproveitamento.
- No **segundo capítulo** é explorado, no contexto energético, o caso Africano. Nele são identificados os países mais carenciados e apresentadas soluções para a electrificação de serviços primários baseadas em sistemas solares PV. Surgem assim na base desta abordagem o **saneamento básico, serviços de saúde eficazes e meios de comunicação** no combate ao isolamento.

- No **terceiro capítulo** é apresentado um estudo de caso em Moçambique onde se pretende demonstrar a viabilidade da electrificação de unidades de saúde remotas através destes sistemas. Para tal realizou-se um **dimensionamento** explorando o software Retscreen e desenvolveu-se uma aplicação informática de **modelação** em Excel. Esta aplicação integra cálculos obtidos dos modelos de vários autores, referenciados ao longo do trabalho, que no seu conjunto reúnem os vários elementos do sistema PV isolado. Esta ferramenta, que se crê original, pretende-se que seja de uso geral em estudos deste âmbito.
- No **quarto capítulo** será apresentado um anteprojecto da instalação eléctrica que servirá a unidade. Nele foram incluídas uma memória descritiva da solução preconizada, um mapa de quantidades e peças desenhadas elaboradas com base nos dados recolhidos no terreno.
- Os **anexos** incluídos nesta dissertação foram divididos em três. **Modelação**, onde é apresentada a ferramenta informática desenvolvida para a simulação do sistema. **Anteprojecto**, onde são incluídas as peças desenhadas do anteprojecto da unidade sanitária. **Digital**, onde foram incluídos os anexos em formato digital (recomenda-se a exploração dos seus conteúdos uma vez que parte do trabalho desenvolvido encontra-se sintetizado nestes anexos).

1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia do Sol converte-se pelas reacções que têm lugar no seu núcleo. “Os átomos de hidrogénio combinam-se entre si para formar átomos de hélio, libertando energia” - **Princípio da Fusão Nuclear**. Esta energia chega à superfície solar, também conhecida por fotosfera, e posteriormente é radiada forma de calor e luz. A energia radiada, também conhecida por **irradiação** medida em J/m^2 , chega à terra através do espaço. Antes de penetrar na atmosfera, o valor do fluxo de energia solar radiada, **irradiância**, é da ordem dos $1373 W/m^2$ (constante solar). Nesta fase a atmosfera da terra torna-se um obstáculo à radiação devido às moléculas que a formam.

Assim a radiação solar divide-se em três componentes ilustradas na figura 1: **directa**, que chega directamente do disco solar (em linha recta); **difusa**, a que provém dos processos de difusão da luz na atmosfera de obstáculos anteriormente mencionados; e **reflectida**, proveniente da reflexão na crosta terrestre e em objectos circundantes. O total da soma destas componentes corresponde à irradiância disponível na superfície terrestre que se estima, mesmo em dias limpos, inferior a $1000 W/m^2$. Dela depende o aproveitamento da **Energia Solar Fotovoltaica** que irá resulta na conversão da radiação em energia eléctrica.

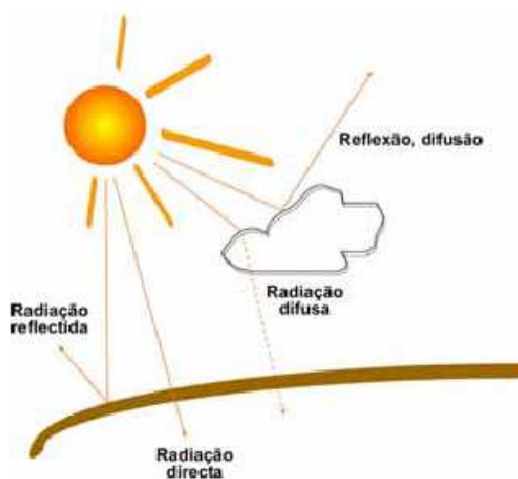


Fig.1 – Luz Solar no seu percurso através da atmosfera

Fonte: GREENPRO 2004

1.1 Contexto Histórico

Em 1839, Edmond Becquerel (figura 2), verificou que placas metálicas de platina ou de prata, mergulhadas num electrólito produziam uma pequena diferença de potencial, quando expostas à luz. Embora estivesse a observar fisicamente o que hoje chamamos o efeito fotovoltaico, Edmond estava ainda longe de chegar à célula PV.

Passado mais de um século, a 25 Abril de 1954, Calvin Fuller (figura 3) apresentou ao mundo aquela que seria a primeira célula PV, onde registou um rendimento de 6%. A sua primeira aplicação foi realizada em Americus, no Estado da Geórgia, para alimentar uma rede telefónica local. O painel com nove células de 30 mm de diâmetro foi montado em Outubro de 1955 e removido em Março de 1956, tendo obtido resultados promissores. As células PV eram consideradas uma curiosidade e foi com grande ânimo que a NASA aceitou incorporá-las como *back-up* de uma pilha convencional no *Vanguard I*, lançado em Março de 1958. Também o programa espacial soviético viu nas células PV a solução para uma fonte de energia para os seus satélites. Como tal, a utilização das células no espaço levou ao avanço tecnológico nas décadas que se seguiram.

A crise petrolífera de 1973, levou a um investimento em programas de investigação para reduzir o custo de produção das células PV. Algumas das tecnologias financiadas por estes programas revolucionaram as ideias sobre o processamento destas células e são, em parte, responsáveis pelo avanço tecnológico que se verifica na actualidade. No início da década de 80, surgem as primeiras aplicações no abastecimento de edifícios. Registavam-se em 1982, 9,3 MW de produção mundial. Na actualidade esse valor ultrapassa os 4 GW, com um crescimento anual médio na ordem dos 30 % de produção mundial, que no último ano (2007) foi cerca de 70 % (dados da EPIA¹).

A integração das células fotovoltaicas em edifícios, aliada a elementos de arquitectura moderna, já é uma realidade e constitui também o grande desafio desta tecnologia

¹ EPIA – European Photovoltaic Industry Association www.epia.org

no futuro. Observa-se na tabela 1 um resumo dos principais momentos históricos.

Tabela 1 - Principais momentos da história da tecnologia PV [SPES, 2007]

Ano	Momento histórico
1839	Edmund Becquerel, descobriu o efeito fotovoltaico num electrólito.
1873	Willoughby Smith descobriu o efeito fotovoltaico num material semi-condutor (selénio).
1876	Adams e Day detectam o efeito fotovoltaico no selénio e constroem a primeira célula fotovoltaica com um rendimento estimado de 1%.
1883	Charles Fritts, descreveu as primeiras células solares construídas a partir de junções de selénio;
1887	Heinrich Hertz descobriu a influência da radiação ultravioleta na descarga eléctrica
1904	Hallwachs descobriu que uma combinação de metais era sensível à luz.
1916	Milikan forneceu a prova experimental do efeito fotoeléctrico.
1918	Czochralski desenvolveu um processo de crescimento de cristais de Silício a partir de um único cristal.
1940/50	Desenvolve-se o método Czochralski para obtenção de Silício monocristalino, de elevado grau de pureza.
1951	Produção de células a partir de um único cristal de germânio.
1954	Realização prática da primeira célula solar de silício monocristalino (Pearson, Fuller, Chapin). Descoberta do efeito fotovoltaico no arsenieto de gálio (GaAs), por Welker, e em cristais de sulfureto de cádmio (CdS), por Reynolds e Leies.
1956	Primeiras aplicações terrestres da conversão fotovoltaica (luzes de flash, bóias de navegação, telecomunicações).
1958	Primeiras aplicações espaciais (satélites Vanguard 1, Explorer 6).
1959	Realização das primeiras células de silício multicristalino.
1976	Fabrico das primeiras células de silício amorfo (Carlson e Wronski).
1983	A produção mundial fotovoltaica ultrapassou os 9,3 MW.
1990	A década de 90 é marcada pelo aparecimento das células de película fina. A Alemanha inicia neste ano um programa PV com apoio governamental a “100.000 tectos solares”..
1994	Japão inicia o programa PV com apoio governamental a “70.000 tectos solares”
2004	Os cinco fabricantes – Sharp, Kyocera, Shell Solar, Bp Solar e RWE SCHOTT SOLAR – formam 60% do mercado PV.
2007	O programa CSI (California Solar Initiative) começa com uma boa aceitação no mercado dando esperança a esta tecnologia.

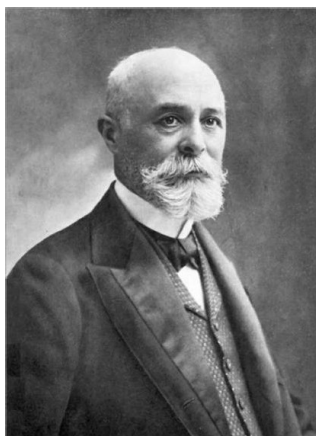


Fig.2 – Becquerel, Alexandre-Edmond
(1820-1891)

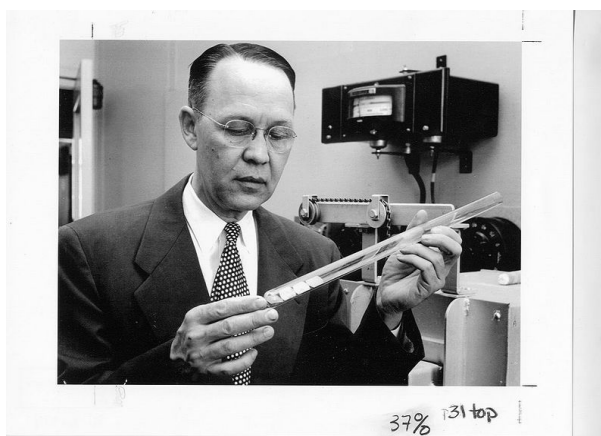


Fig.3 – Fuller , Calvin Souther
(1902 – 1994)

1.2 Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica

A energia fotovoltaica resulta da conversão da radiação solar em energia eléctrica. Torna-se, portanto, necessário distingui-la de outras formas de aproveitamento de energia solar, como o *solar térmico*, que consiste na produção de calor. O princípio fotovoltaico verifica-se em alguns materiais semicondutores que exibem efeito fotoeléctrico, isto é, permitem a absorção de fotões com consequente emissão de electrões. A célula PV é, por isso, constituída por um material semicondutor como o silício, o arsenieto de gálio, telurieto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio. A este elemento são adicionadas substâncias, ditas *dopantes*, de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico ou, conversão directa da potência associada à radiação solar em potência eléctrica em corrente contínua, DC (Direct Current). Iremos aprofundar o seu funcionamento nos pontos seguintes.

1.3 Estrutura de uma Célula Fotovoltaica

A célula de silício cristalino é, entre as referidas anteriormente, a mais comum. O silício é um elemento que apresenta uma disponibilidade quase ilimitada, uma vez que é associado à areia de sílica (SiO_2). Os átomos que o constituem são formados por catorze prótons e catorze electrões. Na banda de valência existem quatro electrões que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionar átomos com cinco electrões de ligação, como o fósforo por exemplo, haverá um electrão em excesso que ficará "solto", ou fracamente ligado ao átomo que lhe deu origem. Isto faz com que uma pequena quantidade de energia, seja suficiente para que este electrão se liberte², indo para a banda de condução³. Diz-se, portanto, que o fósforo é um *doador de electrões* e denomina-se *dopante n* ou *impureza n*. Se, por outro lado, se introduzirem átomos com apenas três electrões de ligação, como é o caso do boro, haverá falta de um electrão para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede.

² Momento em que um fotão da radiação solar contendo energia atinge um electrão da banda de valência.

³ Exemplo: Cristal de silício apresenta uma banda de condução (band gap energy), também conhecida por hiato, na ordem dos 1,12eV.

Esta insuficiência é denominada *buraco* ou *lacuna* e verifica-se que, com pouca energia, um electrão pode passar a ocupar esta posição. Assim, o boro é um *aceitador de electrões*, denominando-se *dopante p*.

Conforme se pode observar na figura 4, para gerar electricidade a partir da célula solar, são instalados contactos metálicos em cada face da ligação p-n, funcionando estes como, eléctrodo negativo (ânodo) e positivo (cátodo). Através deles existirá o fluxo de cargas e uma barreira de potencial que impede a sua recombinação. Observa-se na figura 5 a passagem de banda através da absorção do fotão.

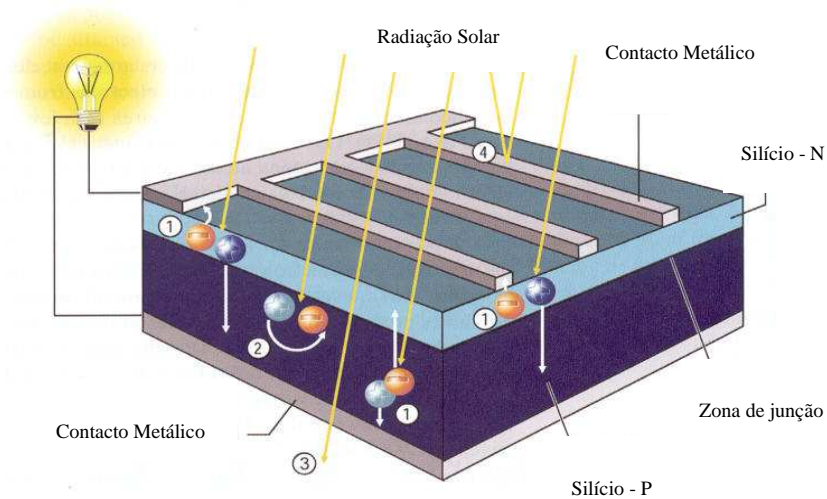


Fig.4 - Esquema geral de funcionamento de uma célula solar: 1) separação de cargas; 2) combinação de cargas; 3) energia do fóton não utilizada; 4) Reflexão e sombreamento pelos contactos superiores

Fonte: GREENPRO 2004

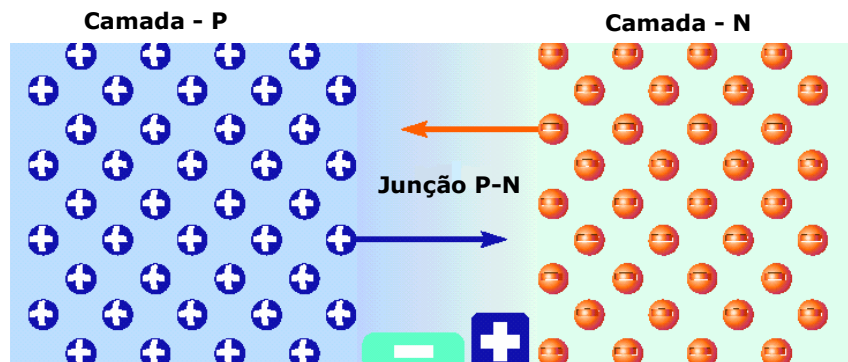


Fig.5 - Passagem de banda. Fonte: GREENPRO 2004

1.4 Materiais de Conversão

Desde as primeiras aplicações na década de 60, que os sistemas solares PV têm evoluído. Esta evolução tem levado a uma diminuição do seu custo e uma consequente penetração, cada vez maior, no mercado de energia. Os materiais e as técnicas utilizadas para o fabrico das células PV são os elementos chave desta consequência, juntamente com os sucessivos apoios financeiros governamentais de onde se destacam países como a Alemanha, Estados Unidos ou Japão.

Com o mercado dominado em 90% a tecnologia de **Silício Cristalino** é a mais comum e constituiu a **primeira geração** de sistemas PV apoiados por fabricantes como Siemens, Sharp, Kyocera, Shell Solar ou a BP Solar:

- **Silício Monocristalino (c-Si):** Obtidas pelo método de Czochralski ⁴, são as mais comuns do mercado. No entanto, o seu fabrico é ainda muito dispendioso. Podem atingir em laboratório rendimentos na ordem dos 24,7%. As comercializadas chegam até aos 18% mas na prática em produção em serie atingem 14% de rendimento máximo (figura 6).

- **Silício Policristalino (p-Si):** Consistem em bolachas obtidas a partir de blocos de silício de pureza intermédia. O seu fabrico é semelhante ao das células monocristalinas embora seja usado menos rigor no processo de controlo. Estas células (figura 7), são por isso, menos caras quando comparadas com as anteriores mas apresentam em laboratório um rendimento inferior, cerca de 18,6% que em produção em série não vão além dos 13%. Considerando este valor como aproveitamento útil de energia solar incidente, [GREENPRO, 2004] o restante é então perdido sob a forma de:

- Reflexão e sombreamento pelos contactos superiores, 3%;
- Quantidade insuficiente de fotões de radiação de grande comprimento de onda, 23%;
- Quantidade excessiva de fotões de radiação de curto comprimento de onda, 32%;

⁴ Método de Czochralski: O silício é fundido juntamente com uma pequena quantidade de *dopante*, normalmente o boro que é do tipo *p*. Com um fragmento do cristal devidamente orientado e sob rígido controlo de temperatura, por forma a garantir a cristalização, vai-se extraindo do material fundido um cilindro de silício monocristalino levemente dopado. Este cilindro é depois cortado em bolachas finas de aproximadamente 300 μm . Após o corte e limpeza de impurezas das fatias, deve-se introduzir impurezas do tipo *n* de forma a se obter a junção. Este processo é feito através da difusão controlada onde as bolachas de silício são expostas a vapor de fósforo num forno onde a temperatura varia entre 800° a 1000° C.

- Perdas por recombinação, 8,5%;
- Gradiente eléctrico na zona de depleção, 20%;
- Resistência (perdas por efeito de Joule), 0,5%

Com o mercado em expansão, surgiu na década de 80 uma **segunda geração** de módulos com tecnologia de **Película Fina (Thin Film)**. Por não dependerem de estruturas cristalinas, o seu processo fabril é mais simples do que as tecnologias de silício cristalino garantindo assim uma elevada produção. Esta geração já existe no mercado:

• **Silício Amorfo (a-Si):** São na sua maioria usadas em produtos da indústria electrónica, de onde se destacam como exemplos de aplicação os relógios e as calculadoras. No entanto, esta tecnologia permite depositar a célula sobre um substrato como plástico, vidro ou metal. As suas aplicações já são estendidas a sistemas de edifícios integradas (BIPV). Apresentam rendimentos laboratoriais na ordem dos 13% no entanto a nível comercial não vão além dos 8%. (figura 8)



Fig.6 – Célula de silício monocristalino

Fonte: Photowatt

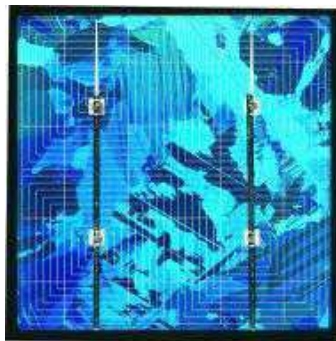


Fig.7 – Célula de silício policristalino

Fonte: Siemens Solar

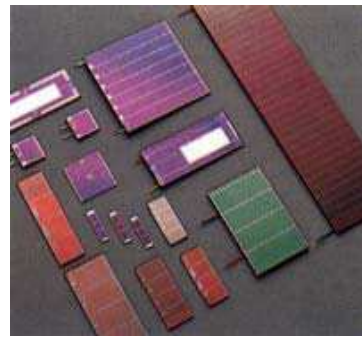


Fig.8 – Células de silício amorfo

Fonte: Photowatt

Nas duas primeiras gerações, o silício tem sido a principal matéria-prima para a produção de células PV, contudo, estima-se que em breve irão perder a hegemonia para materiais mais promissores como o arseniato de gálio e o disseleneto de cobre índio (CIS). Apresenta-se na próxima tabela, adaptada de [GSES,2008], o resumo de rendimentos dos principais tipos de células PV tendo como resultados os valores percentuais dos rendimentos a nível de laboratório, produção e produção em série.

Tabela 2 – Resumo de rendimento dos principais tipos de células fotovoltaicas
[GSES, 2008]

Material da célula solar	Rendimento da célula laboratório (%)	Rendimento da célula produção (%)	Rendimento da célula η_M – produção em série (%)
Silício Monocristalino	24,7	18,0	14,0
Silício Policristalino	19,8	15,0	13,0
Silício Cristalino de Película Fina	19,2	9,5	7,9
Silício Amorfo*	13,0	10,5	7,5
Silício Microamorfo	12,0	10,7	9,1
CIS, CIGS	18,8	14,0	10,0
Telurieto de Cádmio	16,4	10,0	9,0

* No estado estável.

Apresentam-se alguns dos institutos ligados a Universidades e a Indústrias responsáveis por grande parte da evolução das células PV:

- Imperial College London: Experimental Solid State Physics (Inglaterra).
- Instituto de Energia Solar, na Universidade Politécnica de Madrid (Espanha).
- Universidade de Konstanz (Alemanha).
- NREL - National Renewable Energy Laboratory (Estados Unidos).
- Arizona State University Photovoltaic Testing Laboratory (Estados Unidos).
- Fraunhofer Society (Alemanha).
- INETI - Instituto Nacional de Energia, Tecnologia e Inovação (Portugal).
- CINEMAT – Centro de Investigação em Materiais, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (Portugal)
- Grupo de Energia Solar Fotovoltaica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

O trabalho destes institutos encontra-se direccionado para o desenvolvimento das células fotovoltaicas. Este desenvolvimento encontra-se voltado para a pesquisa de novos materiais que tenham a particularidade de gerar energia eléctrica com uma maior eficiência de conversão e cujo fabrico em grande escala seja economicamente competitivo com as tecnologias tradicionais de silício cristalino.

A energia dos sistemas fotovoltaicos, ainda é uma das energias renováveis com maior custo por kWh produzido. De que forma será possível ultrapassar esta barreira?

“Uma das maneiras mais eficazes de ultrapassar esta barreira é precisamente compatibilizar a função de produção de electricidade com a função de material de construção. Se os materiais fotovoltaicos forem utilizados como parte integrante do edifício (figura 9) em detrimento de materiais convencionais, aliando a função de produção de electricidade ao valor do material em si, podemos “abater” sobre o preço do sistema fotovoltaico o preço dos materiais convencionais que seriam utilizados e assim diminuir os custos por kWh da electricidade solar (...) [FERNANDES, J., 2008] ”

Desta forma, começam a surgir no mercado os materiais da **terceira geração**, com ênfase para o total aproveitamento do espectro solar e para aplicações em substratos flexíveis (figura 10) ou mesmo sob a forma de tintas [JOYCE, 2005] estando estes últimos ainda em fase laboratorial.

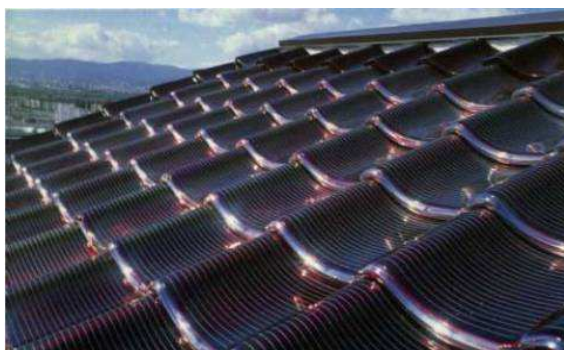


Fig. 9 – Materiais PV integrados em edifícios

Fonte: SRS Energy



Fig. 10 – Tecnologia baseada em substratos flexíveis

Fonte: BP Solar

:

1.5 Paineis Solares Fotovoltaicos

As unidades base dos sistemas fotovoltaicos são as células PV, que como foi abordado no ponto anterior, consoante o tipo de material e a técnica utilizada possuem diferentes rendimentos. Para aumentar a sua tensão de saída, são ligadas em série várias células, onde os contactos metálicos são soldados, de forma a ligar o pólo negativo de cada célula ao pólo positivo da célula seguinte formando um módulo, que por sua vez será ligado em série/paralelo com outros módulos, formando assim um painel PV, como ilustra a figura 11.

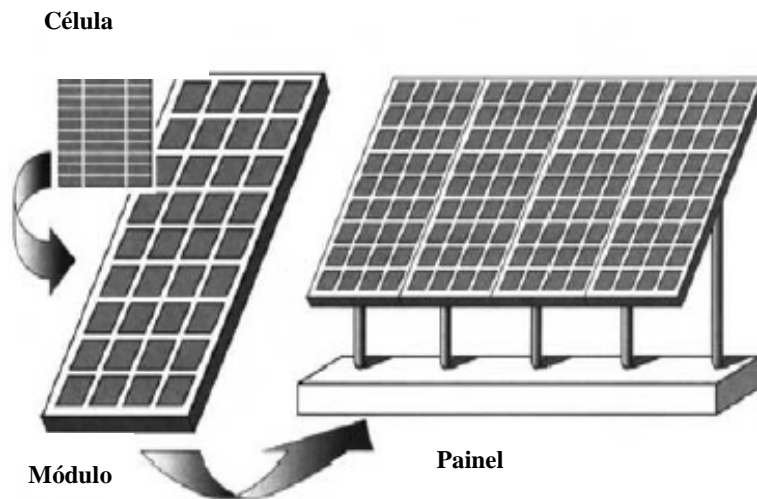


Fig.11 – Desenvolvimento de um painel solar PV

Um módulo de silício cristalino é constituído por células solares ligadas em série e paralelo. De forma a proteger as células as ligações são protegidas por um material que as isola electricamente. Posteriormente, o sistema isolante-célula é fixo a um substrato (vidro, plástico acrílico, metal, entre outros), sendo importante manter a face do semiconductor n permeável à radiação solar incidente. Existem três tipos diferentes de protecção, nomeadamente, com teflon, EVA (Ethylene Vinyl Acetate) e resina.

“Utilização do díodo bypass e bloqueio”

Quando uma célula PV dentro de um módulo, por algum motivo, estiver encoberta, a potência de saída do módulo é reduzida ou praticamente nula, uma vez que, a célula está ligada em série e comprometerá todo o funcionamento das células agregadas a si. Para que todo a corrente de um módulo não seja limitada por uma célula de pior desempenho (o exemplo da célula encoberta), usa-se um díodo de “bypass”. Este díodo permite proporcionar um caminho alternativo para a corrente e limitar a dissipação de calor na célula “defeituosa”. Geralmente o uso do **díodo bypass** é feito através do agrupamento de células, como mostra a figura 12. A topologia ilustrada na figura permite reduzir o preço da instalação mas o ideal seria haver um díodo por cada célula.

Um outro problema que pode ocorrer é o surgimento de uma corrente inversa, ou seja, em vez de gerar corrente, o módulo passa a receber mais do que produz. Esta corrente pode reduzir o rendimento das células e, em casos mais drásticos, a célula pode ser afectada causando assim a perda total do fluxo de energia do módulo. Para evitar esses problemas, usa-se um **díodo de bloqueio** como ilustra a figura 13.

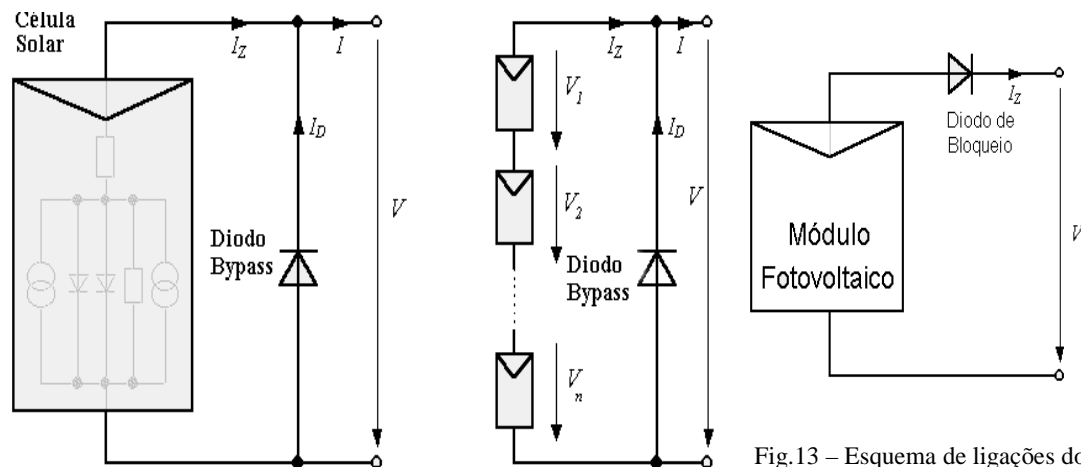


Fig.12 – Esquema de ligações do díodo bypass

Fig.13 – Esquema de ligações do díodo de bloqueio

Os módulos PV são classificados segundo a potência máxima de saída ou potência de ponta, MMP (Maximo Power Point ou Peak Power) nas condições STC ⁵. Segundo essas condições obtêm-se as curvas características dos módulos definindo os parâmetros de radiação para 1000 W/m^2 (radiação recebida na superfície terrestre num dia claro, ao meio dia solar), e de temperatura para 25° C , considerada a temperatura ambiente.

Observam-se na figura 14, adaptada [CASTRO,2004], as curvas características da corrente e da potência em função da tensão, identificando as principais características dos módulos PV:

- Tensão de circuito aberto (V_{OC}).
- Corrente de curto circuito (I_{SC}).
- Potencia máxima (P_m).
- Tensão correspondente à Potência Máxima (V_{mpp}).
- Corrente correspondente à Potência Máxima (I_{mpp}).

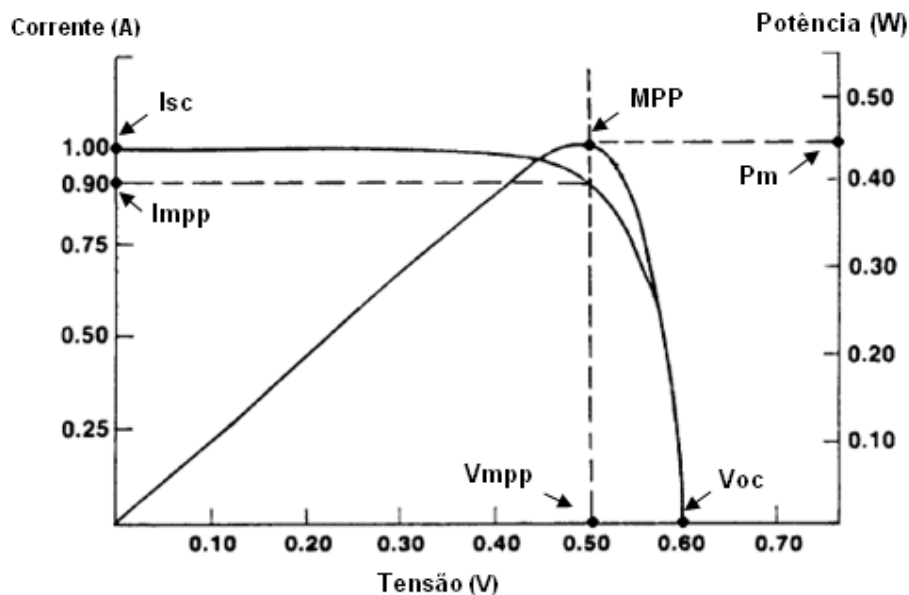


Fig.14 – Curva característica de corrente vs tensão e de potência vs tensão

⁵ STC – Standard Test Conditions, condições nominais de teste normalizadas para realizar as medidas dos parâmetros característicos da célula. Radiação = 1000 W/m^2 . Temperatura = 25° C

Orientação e inclinação dos módulos

Outro factor importante do aproveitamento da energia solar fotovoltaica é a **orientação** e a **inclinação** dos módulos. Estes factores terão que ser analisada caso a caso segundo a localização geográfica da instalação.

Em termos de **orientação** os módulos deverão estar colocados de forma a terem a maior exposição solar possível ao longo dos anos, uma vez que a produção de energia depende da radiação solar que incida por unidade de área nos painéis PV. Assim a sua orientação, por exemplo, no hemisfério Norte deverá vir segundo o Sul geográfico ⁶. Neste dado é importante referir que o Sul geográfico não é coincidente com o Sul magnético definido pela bússola, já que o Sul geográfico por exemplo em Portugal está a cerca de 4° para a direita do Sul magnético. Desta forma para se obter a orientação dos módulos é necessário saber a declinação magnética do local.

A **inclinação** dos módulos depende do fim a que estes se destinam. Exemplos, em Portugal para sistemas isolados da rede eléctrica a inclinação recomendada são de 15° superior ao da latitude do local de instalação, de forma a aumentar a contribuição no Inverno, onde o fornecimento de energia é fundamental. Em sistemas ligados à rede, a inclinação recomendada é 10° abaixo da latitude do local de instalação, uma vez que o objectivo principal é maximizar a produção anual de energia.

⁶ No hemisfério Sul a orientação será para Norte.

1.6 Outros Componentes

Nesta secção apresentar-se-á uma breve descrição dos restantes componentes que perfazem o sistema solar PV. Nomeadamente baterias, regulador de carga e inversor.

1.6.1 Baterias

Um dos principais componentes dos sistemas PV são as baterias, usadas principalmente em sistemas isolados, sem ligação à rede eléctrica. Estes elementos asseguraram o abastecimento nos períodos em que o recurso é insuficiente, ou não está disponível (exemplo durante a noite).

Na tabela 3 são apresentados os três tipos principais de baterias e mencionadas algumas das suas vantagens e desvantagens.

Tabela 3 - Características dos principais tipos de baterias utilizadas
[GSES, 2008]

Tipo de Baterias	Características
Baterias húmidas	<ul style="list-style-type: none"> • As mais comuns e mais económicas; • Baixa capacidade (carga eléctrica); • Adequada para aplicações esporádicas.
Baterias de gel	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição da estratificação do ácido sulfúrico e da precipitação de sulfato de chumbo os eléctrodos; • Maior tempo de vida; • Adequada para locais pouco ventilados; • Isolamento total (adequada para instalação em qualquer posição e local); • Não é necessária manutenção.
Baterias estacionárias com placas tubulares	<ul style="list-style-type: none"> • Para operações superiores a 15-20 anos; • Ideais para sistemas isolados; • As baterias seladas não requerem manutenção; • Baterias não seladas requerem manutenção cada 0,5 – 3 anos; • Custo elevado;

1.6.2 Regulador de carga

Num sistema fotovoltaico em que seja necessário utilizar baterias como acumuladores de energia, são também utilizados reguladores de carga. Estes dispositivos têm como função efectuar a gestão da carga, de forma a obter perfis compatíveis com a radiação disponível e com a capacidade das baterias.

As tensões normalmente mais comuns são de 12 V, 24 V ou 48 V. Existem três tipos principais de reguladores, nomeadamente:

- **Reguladores de carga em série:** Têm como principal função interromper o circuito entre o módulo fotovoltaico e as baterias quando se atinge a tensão máxima de carga. As constantes comutações, provocadas pelo estado de carga, criam oscilações de tensão perto da tensão máxima de carga, bem como perdas permanentes de energia.

- **Reguladores de carga em paralelo:** Operam diminuindo a potência do módulo fotovoltaico provocando curto-circuito no mesmo. Este método é vantajoso para a bateria, uma vez que a sua carga é feita de uma forma segura e eficiente.

- **Reguladores de carga de pico máximo de potência:** Regulam a tensão proveniente do módulo PV pelo cálculo do MPP do módulo obtido a partir do varrimento da curva característica I-U (rastreo efectuado de 5 em 5 minutos aproximadamente).

Os reguladores de carga em série e em paralelo apresentam perdas na ordem dos 10% a 40% face aos reguladores de carga no pico máximo de tensão que apresentam rendimentos entre os 90% e os 96%. Devido ao seu elevado valor comercial no mercado só se justifica a utilização deste ultimo método para sistemas superiores a 500W.

1.6.3 Inversor

Inversores são componentes de electrónica de potência que permitem converter a corrente contínua (DC), gerada pelo módulo fotovoltaico, em corrente alternada (AC). Existem dois grupos principais de inversores, os correspondentes aos sistemas fotovoltaicos isolados e os que são utilizados nos sistemas ligados à rede.

Nos **sistemas com ligação à rede eléctrica**, os inversores estão ligados directamente à rede principal. Nesta situação, operam como interface entre o painel e a rede de modo a adequar as grandezas DC do painel às formas de onda AC exigidas pela rede.

Os inversores utilizados em **sistema isolados**, sem ligação à rede, são usados se houver cargas alimentadas em AC, como por exemplo os aparelhos domésticos como frigoríficos ou televisores. As principais funções destes dois tipos de inversores são descritas na tabela 4.

Tabela 4 - Principais características dos inversores utilizados

[GSES,2008]

Tipo de Inversores	Funções
Sistemas ligação à rede	<ul style="list-style-type: none"> • Converter corrente contínua em corrente alterna, satisfazendo os requisitos da rede (ajustar a frequência da corrente alterna à existente na rede). • Ajustar o seu ponto de operação ao MPP; • Registar dados. • Protecção dos equipamentos ligados ao sistema (desliga automaticamente quando a corrente fornecida é inferior à necessidade dos equipamentos ligados).
Sistemas isolados	<ul style="list-style-type: none"> • Obter corrente alterna com uma tensão e frequência estáveis. • Ter um bom rendimento de conversão, mesmo quando a bateria não está completamente carregada; • Adaptar condições face a a flutuações na tensão da bateria. • Proteger a bateria contra grandes descargas. • Ter protecção contra curto-circuito. • Ter uma boa compatibilidade electromagnética. • Ter protecção contra sobre-tensão.

1.7 Aplicações e Topologias

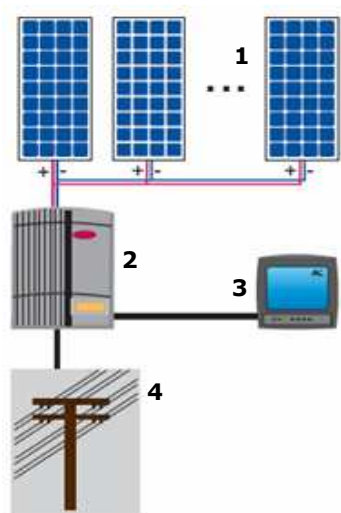
A evolução dos sistemas solar PV reflecte-se em aplicações direccionadas ao mercado energético. São várias as aplicações destes sistemas, podendo ser divididas em aplicações de:

- **Pequena potência** (décimas ou unidade de kW) - como exemplo os relógios, calculadoras, parquímetros, sinais rodoviários, telefones de emergência e transmissores de telemóvel.
- **Média potência** (dezenas ou centenas de kW) - onde é possível a produção descentralizada ligada à rede (sistemas on-grid) ou a electrificação de zonas remotas isoladas da rede eléctrica (sistemas stand-alone ou off-grid) com o abastecimento de cargas domésticas, ou mesmo para aplicações agrícolas como bombagem de água e irrigação.
- **Grande potência** (MW) - centrais de energia solar PV.

Em muitas destas aplicações, os sistemas PV substituem com vantagem outros meios de produção energética, designadamente nas aplicações de pequena potência, onde a sua difusão é muito significativa. Com o desenvolvimento destes sistemas ao longo das últimas décadas, e se compararmos o rendimento das primeiras células PV (anos 50) de 1 a 2%, com os sistemas actuais que chegam aos 20%, percebemos que, da mesma forma, também as aplicações de média potência emergiram, podendo hoje em dia os sistemas PV operar sozinhos ou em associação com outras fontes de energias renováveis (ex. energia eólica).

Em aplicações de média/grande potência os painéis PV podem ser operados principalmente de quatro formas:

- **Sistemas centralizados ligados à rede** (grid-connected centralized): sistemas que fornecem exclusivamente energia eléctrica à rede.
- **Sistemas distribuídos ligados à rede** (grid-connected distributed): sistemas que fornecem energia eléctrica a edifícios (comerciais ou industriais) ou outras cargas igualmente ligadas à rede, para onde a energia em excesso é enviada (figura 15). A potência típica para este tipo de aplicações varia entre 0,5 kW e 100 kW.

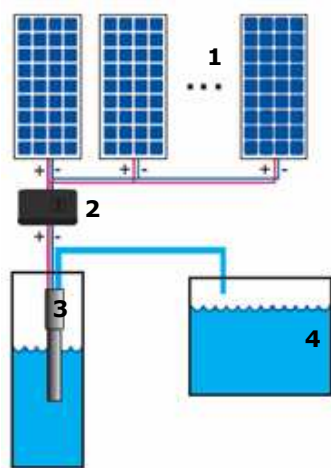


Legenda:

- 1) Módulos PV
- 2) Inversor
- 3) Cargas
- 4) Rede eléctrica

Fig.15 - Sistema ligado à rede, Fonte: RETScreen

• **Sistemas isolados não domésticos** (off-grid non-domestic): sistemas que fornecem energia eléctrica a serviços tais como, telecomunicações, bombagem de água (figura 16), frigoríficos médicos, ajuda à navegação aérea e marítima, ou estações de recolha de dados meteorológicos.

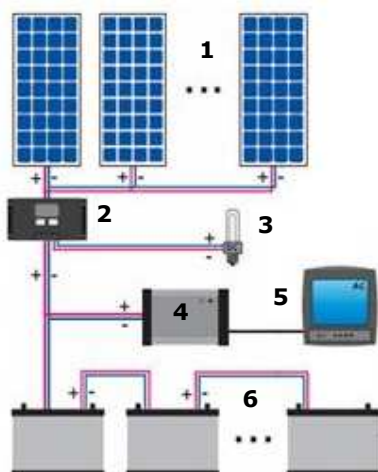


Legenda:

- 1) Módulos PV
- 2) Regulador de carga
- 3) Motor bombagem DC
- 4) Reservatório de água

Fig.16 - Sistema isolado de bombagem, Fonte: RETScreen

• **Sistema isolado doméstico** (off-grid domestic) também conhecidos por sistemas **stand-alone**, alimentando cargas directamente: estes sistemas fornecem energia eléctrica para iluminação, refrigeração e outras pequenas cargas em locais isolados (figura 17).

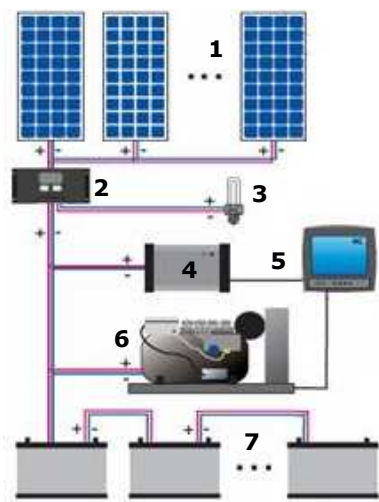


Legenda:

- 1) Módulos FV
- 2) Regulador de carga
- 3) Cargas DC
- 4) Inversor
- 5) Cargas AC
- 6) Banco de baterias

Fig.17 - Sistema isolado para AC e DC, Fonte: RETScreen

• **Sistema híbrido** (hybrid): alimentando directamente cargas isoladas, em conjunto com outros conversores de energias renováveis, por exemplo, o eólico ou não renovável, por exemplo, gerador a diesel. Neste modo de operação, os dispositivos requeridos são os mencionados anteriormente para o funcionamento em sistema isolado, podendo existir também um meio de produção convencional, geralmente o gerador diesel para apoio e reserva (como demonstra a figura 18).



Legenda:

- 1) Módulos PV
- 2) Regulador de carga
- 3) Cargas DC
- 4) Inversor
- 5) Cargas AC
- 6) Gerador diesel
- 7) Banco de baterias

Fig. 18 - Sistema híbrido, Fonte: RETScreen

1.8 Modelo Matemático

Uma célula pode ser traduzida através de circuitos eléctricos simples. Esta simplificação torna-se importante na medida em que permite, através de aproximações, obter modelos matemáticos que possibilitam uma previsão do seu comportamento quando integradas num sistema solar fotovoltaico.

O primeiro modelo a ser abordado é o **modelo simples** [CASTRO,2004]. Como se pode observar na figura 19, a fonte de corrente I_S , que alimenta o circuito, representa a corrente eléctrica gerada pela radiação solar incidente na célula (efeito fotovoltaico). Desta forma, o fundamento desta aproximação é uma corrente unidireccional constante para uma dada radiação incidente. O díodo traduz a junção p-n, que é atravessada por uma corrente I_D , a qual depende da tensão aos terminais da célula.

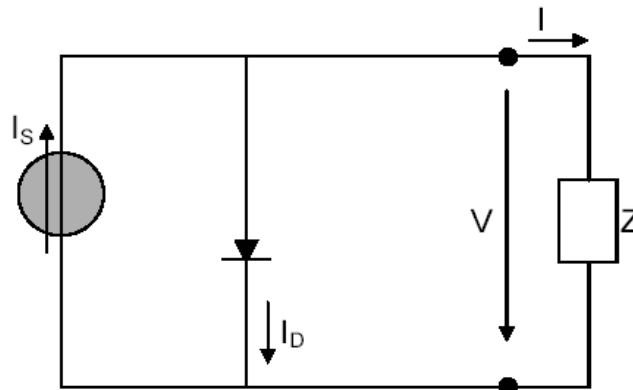


Fig.19 – Modelo Simples

a) Corrente no díodo, I_D

$$I_D = I_0 (e^{\frac{V}{mV_T}} - 1) \quad (1.1)$$

Onde:

- I_0 – Corrente inversa máxima de saturação do díodo
- V – Tensão aos terminais da célula
- m – Factor de idealidade do díodo (díodo ideal: $m=1$, díodo real: $m>1$)
- V_T – Representa o potencial térmico dado por: $V_T = \frac{KT}{q}$ ⁷

K – Constante de Boltzmann ($K = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J / K}$)

q – Carga eléctrica do electrão ($q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

b) A expressão da corrente que percorre a carga, I

$$I = I_s - I_D \text{ (aplicando a Lei dos nós),} \quad (1.2)$$

Simplificando com (1.3) chega-se à expressão final

$$I = I_s - I_0 (e^{\frac{V}{mV_T}} - 1) \quad (1.3)$$

⁷ Exemplo: $T = 298,16 \text{ K}$ ($\Theta = 25 \text{ }^\circ\text{C}$), obtém-se $V_T = 25,7 \text{ mV}$.

Observa-se na figura 20 o gráfico que representa a corrente de curto-circuito, I_{SC} e tensão em circuito aberto, V_{OC} , na curva característica de um módulo PV.

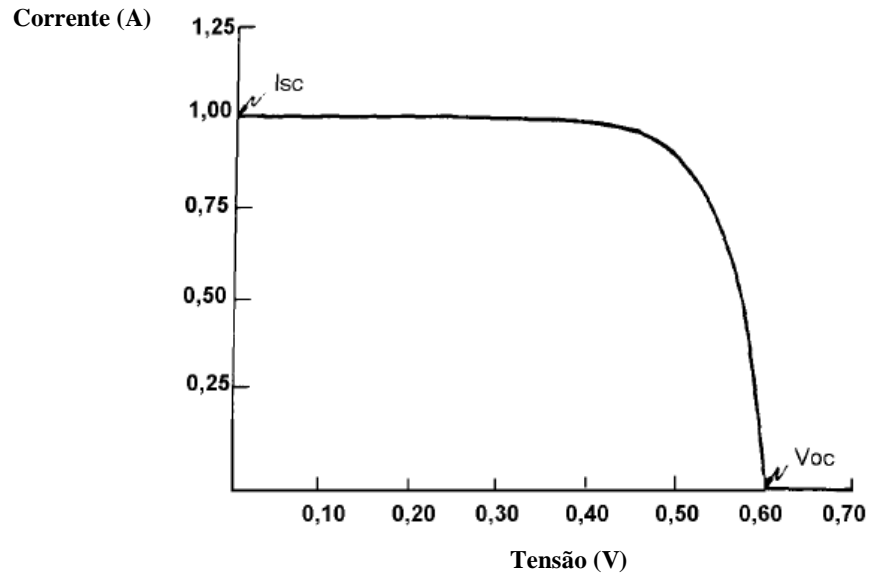


Fig.20 – Curva característica de I em função de V
mostrando a corrente I_{sc} e a tensão V_{oc}

c) Corrente de curto-circuito, I_{SC}

Aplicando a aproximação matemática de curto-circuito,

$$V = 0$$

$$I_D = 0$$

Obtém-se substituindo em (1.3):

$$I = I_S = I_{sc} \quad (1.4)$$

A corrente de curto-circuito, I_{sc} , é igual à corrente gerada pela radiação solar incidente na célula. O seu valor é uma característica fornecida pelo fabricante e varia consoante o tipo de célula.

d) Tensão em circuito aberto, V_{OC}

Circuito aberto implica $I=0$, substituindo em (1.3): Obtém-se

$$V_{oc} = mV_T \ln \left(1 + \frac{I_s}{I_o} \right) \quad (1.5)$$

A tensão de circuito aberto V_{OC} é o valor máximo da tensão aos terminais da célula. O seu valor também é uma característica da célula e, tal como V_{OC} , é fornecido pelo fabricante.

e) Potência eléctrica, P

Observa-se na figura 21 característica da Potencia em função da Tensão mostrando o valor de P_{max} calculado igualando o zero da derivada da Potência em função da Tensão

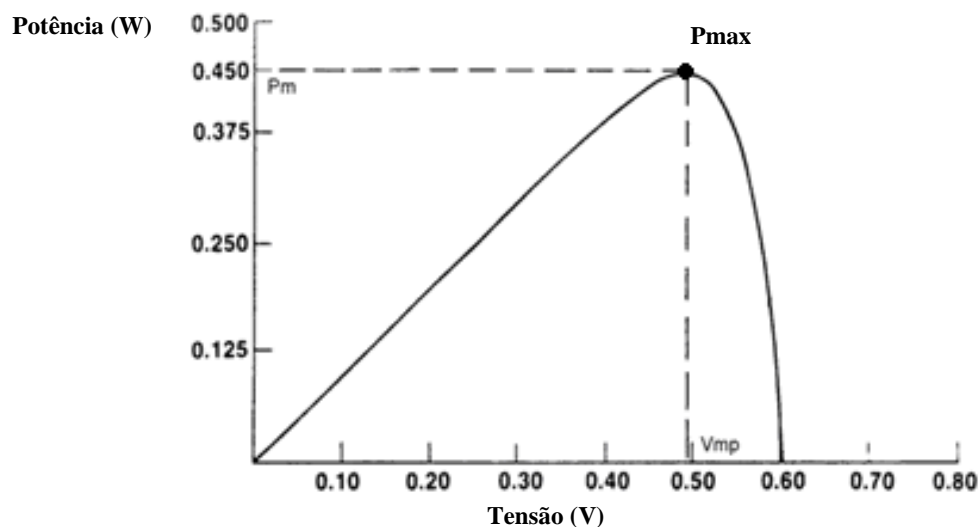


Fig.21 – Curva característica da Potencia em função da Tensão

$$P = VI = V \left[I_s - I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \right] \quad (1.6)$$

f) Rendimento, η

$$\eta = \frac{P_{\max}}{AG} \quad (1.7)$$

- P_{\max} – Potência máxima
- A – Área da célula
- G – Radiação incidente

Verifica-se, experimentalmente, que o modelo simples não é uma representação rigorosa da célula fotovoltaica [CASTRO, 2004] - uma vez que se considerou o caso ideal onde não existem quedas de tensão nem correntes de fuga. Apresenta-se um segundo modelo, **modelo detalhado** (figura 22), uma aproximação superior ao modelo simples das células “reais”. Inclui-se no circuito: uma resistência R_s , representativa da queda de tensão no circuito até aos contactos exteriores; uma resistência em paralelo R_p , que traduz as correntes de fuga do circuito.

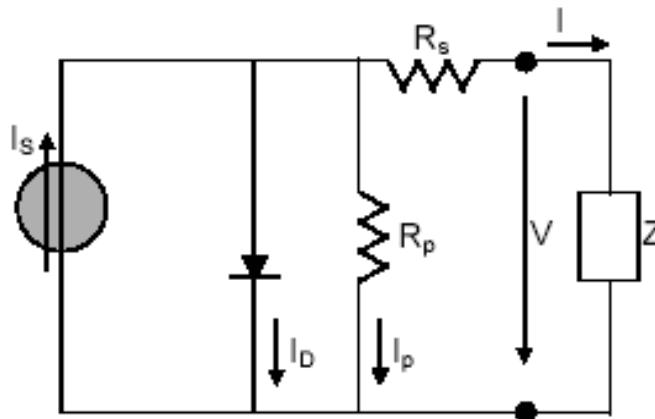


Fig.22 – Modelo Detalhado

Aplicando a Lei dos nós verifica-se que a corrente I ,

$$I = I_s - I_D - I_p \quad (1.8)$$

Substituído I_D e sabendo que $I_p = \frac{V + R_s I}{R_p}$, obtém-se a expressão final da corrente que se fecha pela carga⁸,

$$I = I_s - I_0 \left(e^{\frac{V + R_s I}{mV_T}} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (1.9)$$

⁸

Equação implícita resolvida com recurso a métodos iterativos

2 ELECTRIFICAÇÃO DE SERVIÇOS PRIMÁRIOS EM POVOADOS REMOTOS AFRICANOS

Na actualidade, existem países no mundo onde grande parte da população não tem acesso à rede de energia eléctrica sendo, nesse sentido, considerados **zonas isoladas**. A falta de acesso fácil à energia tem repercussões a nível da saúde pública e do próprio desenvolvimento das populações. A necessidade de fornecer energia eléctrica a zonas onde não existe ligação à rede é, por demais, conhecida. No entanto, a instalação de infra-estruturas que permitam a chegada da electricidade às residências não tem sido prioritária em muitos destes países, sobretudo em desenvolvimento, devido a questões políticas e económicas. Contudo, a nenhum ser humano deve ser negado o direito a serviços de saneamento básico e meios de saúde eficazes.

Estudos do **Banco Mundial** ⁹ indicam que aproximadamente dois mil milhões de pessoas no mundo inteiro não têm nenhum acesso à rede pública (2007). As **Metas de Desenvolvimento do Milénio** (MDM) ¹⁰ apresentadas na Declaração do Milénio pela Organização das Nações Unidas (ONU) em Setembro de 2000 pretendem reunir esforços colectivos no combate à pobreza e ao desenvolvimento sustentável. A electrificação é, nesse sentido, um importante elemento estratégico para a promoção de áreas rurais e isoladas nos países em desenvolvimento. Os conceitos e as tecnologias para o fornecimento descentralizado de energia eléctrica podem ser um factor preponderante para atingir muitos destes objectivos.

⁹ Banco mundial: É considerada a maior fonte de ajuda ao desenvolvimento. Esta agência do sistema das Nações Unidas foi fundada a 1 de Julho de 1944 por uma conferência de representantes de 44 governos em Bretton Woods, New Hampshire, EUA, e tinha como missão inicial financiar a reconstrução dos países devastados durante a Segunda Guerra Mundial. Actualmente a sua missão principal é a luta contra a pobreza através do financiamento e empréstimos aos países em desenvolvimento. O seu funcionamento é garantido por quotas definidas e reguladas pelos países membros. É composto na actualidade por 184 países membros. Sede: Washington DC, EUA [www.worldbank.org]

¹⁰ Metas de Desenvolvimento do Milénio até 2015, os 189 Estados Membros das Nações Unidas comprometeram-se a: 1. Erradicar a pobreza extrema e a fome; 2. Alcançar o ensino primário universal; 3. Promover a igualdade de género e a autonomização da mulher; 4. Reduzir a mortalidade de crianças; 5. Melhorar a saúde materna; 6. Combater o VIH/SIDA, a malária e outras doenças; 7. Garantir a sustentabilidade ambiental; 8. Criar uma parceria global para o desenvolvimento [www.un.org/millenniumgoals]

A energia fotovoltaica neste contexto assume um papel preponderante nesta estratégia, uma vez que constitui uma alternativa para fornecer energia em zonas isoladas através de pequenas unidades uniformemente distribuídas. Observa-se na figura 23 a distribuição global da irradiação solar na crosta terrestre. África é o continente que mais se destaca, com 30 milhões de km² e mais de 800 milhões de habitantes distribuídos por 52 países. Este continente atinge os maiores níveis de radiação solar do globo terrestre.

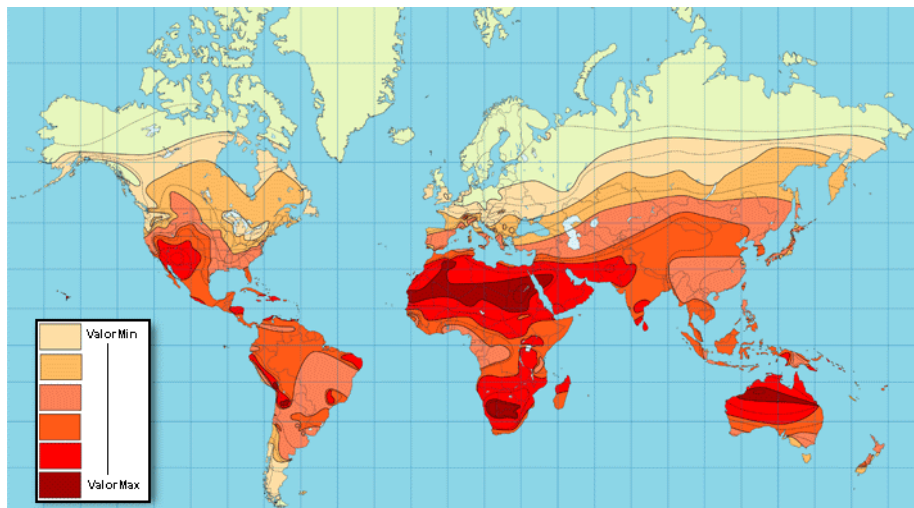


Fig.23 - Distribuição global da irradiação solar

Fonte adaptada: BPSolar

Comparando a figura 23 com a 24 verificamos um dado curioso. As zonas do globo onde existe maior potencial solar são, precisamente, onde se situam a maior parte dos países em desenvolvimento (alguns dos quais representados na figura 24 a azul).



Fig.24 - Distribuição global dos principais países em desenvolvimento

Fonte: ONU

2.1 Identificação das Zonas Isoladas no Continente Africano

A electrificação através de energia solar tem vindo a ser testada como alternativa no continente africano, sobretudo em zonas isoladas onde são inquestionáveis as vantagens do uso da energia solar como fonte geradora de electricidade em aplicações remotas, face ao potencial de radiação e temperatura deste continente. Contudo, a realidade e os dados estatísticos do Banco Mundial indicam que, apesar da abundância deste e de outros recursos energéticos, o continente africano representa apenas 3% do consumo mundial de energia.

A Argélia, Nigéria, Líbia, África do Sul, Egipto e Angola são os países que revelam maior nível de produção e de fontes primárias de energia (figuras 25 e 26).

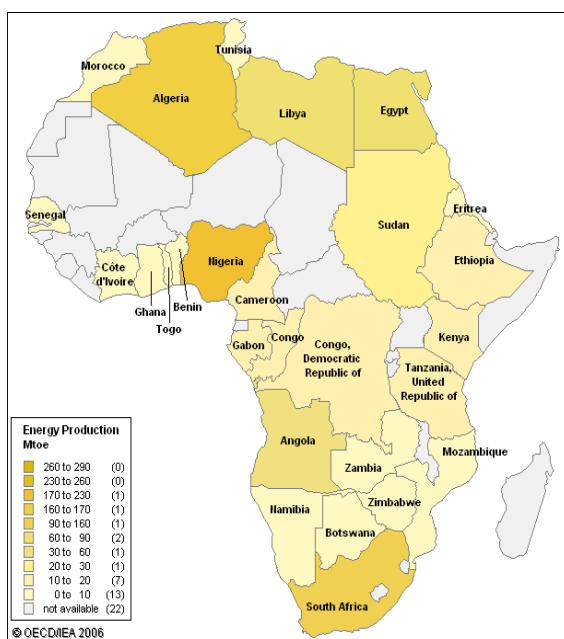


Fig.25 - Fontes primárias de energia em África

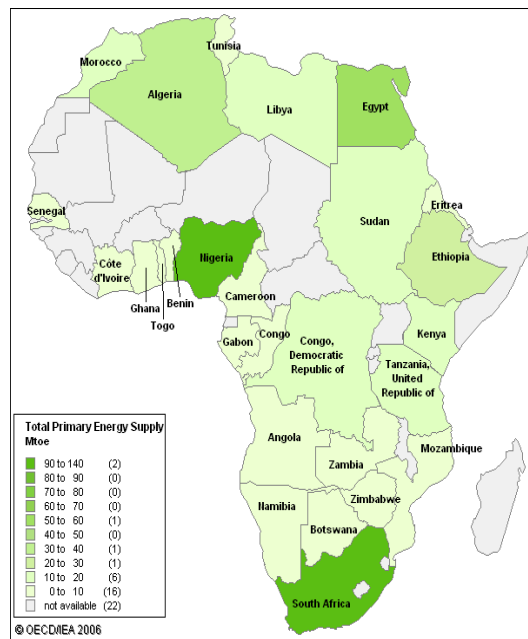


Fig.26 - Produção de Energia em África

Por outro lado, verifica-se que apenas 10% dos africanos têm acesso à rede eléctrica que, geralmente, só chega as áreas urbanas. O resto da população depende, então, de combustíveis fósseis para o abastecimento de geradores ou de fontes alternativas. Neste ponto interessa, por isso, identificar as zonas isoladas mais críticas.

Analisou-se numa base de dados compilada pelo Banco Mundial (tabela 5) que percentagem de países Africanos têm acesso à rede eléctrica e também qual a quantidade de habitantes que vive sem acesso a esta rede. Verificou-se que o Malawi, a República Democrática do Congo e Moçambique se destacam na tabela.

Tabela 5 – Países que apresentam menores taxas de electrificação em África [Banco Mundial]

	Taxa de Electrificação (%)	População sem electricidade (milhões)	População com electricidade (milhões)
Angola	15,0	13,5	2,4
Benim	22,0	6,5	1,8
Botsuana	38,5	1,1	0,7
Burquina-faso	7,0	12,4	0,9
Camarões	47,0	8,7	7,7
Congo	19,5	3,2	0,8
Rep.Dem do Congo	5,8	53,8	3,3
Costa do Marfim	50,0	9,1	9,1
Eritreia	20,2	3,5	0,9
Etiópia	15,0	60,8	10,7
Gabão	47,9	0,7	0,7
Gana	49,2	11,3	10,9
Quénia	14,0	29,4	4,8
Lesoto	11,0	1,9	0,2
Madagáscar	15,0	15,2	2,7
Malawi	7,0	11,8	0,9
Maurícias	93,6	0,1	1,2
Moçambique	6,3	18,6	1,3
Namíbia	34,0	1,4	0,7
Nigéria	46,0	71,1	60,5

Consultada a Agencia Internacional de Energia (IEA), os dados mais recentes de 2007/2008 revelam que numa de lista de 177 países a nível mundial estes ocupam respectivamente as posições de 164, 168 e 172 no que diz respeito à taxa de electrificação por habitante.

2.2 Principais Políticas Energéticas e o Investimento de Moçambique na Energia Solar Fotovoltaica

Com base em consultas em portais governamentais, apresenta-se um pequeno resumo das políticas energéticas e principais projectos dos países identificados:

República Democrática do Congo: As centrais hidroeléctricas são as principais apostas da política energética deste país, prevendo-se a construção das centrais de Kakobola (6 MW), Katende (10 MW), Bengamisa (15 MW), Napoko (10 MW), Kisalala (6 MW), Mungomba (40 MW), Busanga (300 MW), INGA 3 (3.500 MW). Os objectivos desta política passam por: reduzir o desequilíbrio do desenvolvimento energético entre as várias províncias; promover a electrificação dos centros rurais; aumentar a taxa de electrificação nacional; e promover as exportações de energia. Nestes objectivos consideram-se o investimento em energias renováveis, nomeadamente energia solar fotovoltaica até 2015, mas não são apresentados nenhuns valores formais.

Moçambique e Malawi: No Malawi, 90 % da energia total fornecida por biomassa é sob a forma de madeira (lenha). Juntos, a biomassa e o biogás totalizam cerca de 92% de toda a energia consumida. Tal como no Malawi, Moçambique ainda depende do carvão vegetal e da lenha e aponta-se que esta dependência chegou a ser na ordem dos 80 %, em 2000. Desde então, a política deste país passa por assegurar a maximização dos benefícios do projecto de Cabora Bassa¹¹, aumentar a exploração de gás natural e aumentar o fundo da FUNAE (Fundo Nacional de Energia) para incentivar a electrificação de zonas isoladas, através de energias renováveis. Estes dois países estão a criar ligações entre si para poderem partilhar a energia que têm um com o outro. A interligação implica construir uma linha de transporte de 220 kV, onde 120 km de linha ficam situados em Moçambique e 80 km no Malawi. A ESCOM (Electricity Supply Corporation of Malawi) usará a interligação para importar energia durante períodos de condições de seca e de deficiente capacidade de geração de energia, que acontecem regularmente de dois em dois anos.

¹¹ Segunda maior hidroeléctrica do mundo. A primeira encontra-se no Nilo.

Investimento de Moçambique na energia solar fotovoltaica

O FUNAE (Fundo Nacional de Energia) é uma instituição pública Moçambicana criada em 1997 com o objectivo de desenvolver, produzir e aproveitar as diversas formas de energia a baixo custo para fornecimento às zonas rurais e urbanas habitadas por população com baixos rendimentos. Destacam-se entre as suas principais actividades a promoção, conservação e sustentabilidade dos recursos energéticos, bem como, prestação de garantias financeiras a projectos do sector de energia.

A referência [Canal de Moçambique] de 28 Janeiro 2009 refere que “O FUNAE rubricou, recentemente na Índia, um memorando de entendimento com a Central Electronics Limited (CEL) com vista a instalação de uma fábrica para a montagem de sistemas eléctricos fotovoltaicos e posteriormente a produção das células para os mesmos sistemas.”

Refere também que “Trezentas escolas e unidades sanitárias localizadas nas zonas rurais estão desde finais do ano passado a ser iluminadas através de painéis solares, num programa que custou pouco mais de 2,5 milhões de dólares, com fundos do Governo e do Banco Mundial, em forma de crédito”.

A referência [FUNAE,2008] refere que “No âmbito do seu programa de electrificação rural com base em Sistemas Fotovoltaicos, electrificou os Postos Administrativos de Tome e Mavume no Distrito de Funhalouro, Belane, Murrure e Mavanza no Distrito de Vilankulo, Província de Inhambane. O projecto prevê ainda instalar, para além da electrificação das infra-estruturas administrativas, Centros de Saúde, Escolas, infra-estruturas sociais e iluminação pública”.

2.3 Electrificação de Serviços Primários

A electrificação de serviços primários pretende prestar um fornecimento de energia adequado, melhorando significativamente as condições de vida das populações rurais e potenciando o desenvolvimento económico e social local. Os serviços primários que surgem na lista dos mais urgentes para este países são o **saneamento básico, serviços de saúde eficazes e meios de comunicação** no combate ao isolamento.

O uso de sistemas PV autónomos, como já foi abordado, permite a produção de electricidade (AC e DC) e bombeamento de água num sistema completamente autónomo. Para além destas, destacam-se ainda as seguintes vantagens:

- **Modularidade**, que o torna simples em termos de manutenção e montagem.
- **Fiabilidade**, pelos anos de desenvolvimento desta tecnologia e por a sua aplicação a este tipo de serviços já ser uma realidade.
- **Silêncio de funcionamento** destes sistemas quando comparados com geradores a diesel.
- **Meio de produção energética de carácter sustentável.**

Em termos socioeconómicos, a escolha destes sistemas permite também a criação de postos de emprego local, com o objectivo de garantir a manutenção dos sistemas PV. Permite ainda uma maior exposição às comunidades dos sistemas PV, o que se traduz num bom veículo para desmistificar o seu uso e ajudar os programas de sensibilização para o uso das energias alternativas em zonas rurais. O aumento da procura dos sistemas fotovoltaicos amplia o mercado e as empresas que se instalam para vender e implementar estes serviços. Por essa razão, espera-se que num futuro próximo, para além da criação de postos de emprego.

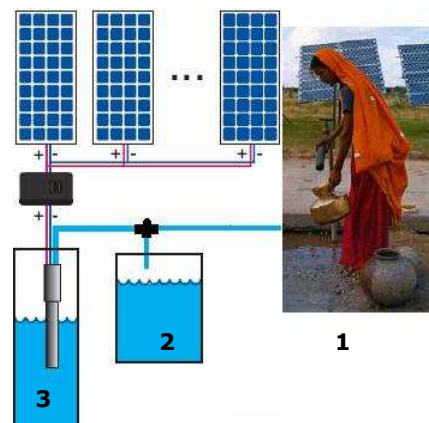
2.3.1 Serviços de saneamento básico

O acesso a água potável é das maiores dificuldades dos países africanos em grande parte, não pela fraca abundância do recurso, mas pela forma como é aproveitado. As suas repercussões são ao nível da saúde pública. Doenças como diarreia são a segunda principal causa de morte na infância, atrás das infecções respiratórias. A diarreia mata mais do que a tuberculose e a malária. Entre as crianças, cinco vezes mais que a SIDA.

Descrito no Relatório do Desenvolvimento Humano 2006 a “Água potável e saneamento estão entre os mais eficientes remédios preventivos para reduzir a mortalidade infantil”. Este relatório menciona ainda que “(...) a escassez física de água, definida como quantidade insuficiente de recursos para satisfazer a procura, é uma das características inerentes à questão da segurança da água em alguns países. Mas as situações de penúria absoluta ainda são a excepção, e não a regra. A maioria dos países dispõe de água suficiente para satisfazer as necessidades domésticas, industriais, agrícolas e ambientais. O problema está na sua gestão”.

Tendo em conta o problema de gestão e a forma como animais e pessoas partilham a mesma fonte de abastecimento, apresenta-se a solução de um sistema solar PV autónomo simples, a alimentar directamente um motor de corrente contínua que garante o acesso a água potável, sem baterias, sem ruído, sem poluição, efectuando uma melhor gestão do recurso. A figura 27 mostra uma adaptação para serviços de saneamento básico de um sistema PV de bombeamento de água ¹²

Fig.27 – Sistema solar PV para serviços de saneamento básico:
1) Fonte principal
2) Reservatório para animais,
3) Água domiciliar
Fonte adaptada : RETScreen



¹²

Ver: 1.8) Aplicações e Topologias – Sistema isolado não domestico

Desta forma através de um sistema PV stand-alone simples a alimentar um motor corrente continua para bombeamento de água é possível, isolando a fonte principal ¹³, separar a água domiciliar da água para o gado, permitindo assim um melhor controlo de epidemias. Observa-se na figura 28 um desses sistemas numa zona crítica onde foi conveniente proteger os painéis contra eventuais furtos.



Fig.28 – Sistema solar PV protegido, Fonte: IEA

Nesta abordagem do uso de sistemas PV para bombeamento de água, é importante reflectir sobre a necessidade do recurso (ter água) e a fonte energética (potencial solar). Geralmente, as regiões mais secas e carentes de água são as que possuem maiores níveis de radiação. Este factor faz com que estes sistemas também possam ser usados para fins agrícolas, de forma a fazer chegar a água às zonas de cultivo em alturas do ano em que a água escasseia.

O dimensionamento de um sistema de bombeamento de água terá que ser feito com base no consumo previsto e de acordo com o sistema de distribuição adoptado, respeitando sempre as potencialidades dos diversos usos (exemplo: aplicações para serviços de saneamento básico ou agrícolas). Para o cálculo consideram-se ainda:

- **Características de radiação e temperaturas do local.**
- **Quantidade de água prevista para uso.** Quanto maior for a quantidade diária bombeada maior será o número de módulos fotovoltaico, uma vez que a energia consumida

¹³ É de extrema importância que a fonte principal esteja isolada e inacessível para evitar contaminações. Uma vez que, muitas destas zonas estão abrangidas por programas governamentais de reabilitação, é desejável incluir o controlo periódico do estado da água.

(kWh) resulta do produto entre a potência do motor escolhido (W) e o tempo (horas) que ele se encontra em funcionamento.

- **Características do local** onde se encontra a fonte principal de água e **alturas envolvidas**. Implicará o tipo de bomba a considerar no sistema (bomba submersível para poços ou bomba de superfície para charcas).

2.3.2 Serviços de saúde

A electrificação de centros de saúde enquadra-se no plano de actividades governamentais dos países africanos, bem como do MISAU (Ministério da Saúde), actividade que visa contribuir para a execução dos objectivos de Desenvolvimento do Milénio, onde consta o aumento do acesso das populações rurais a melhores serviços de saúde, através da utilização de energia.

Segundo a Cruz Vermelha de Moçambique Novembro em 2006 “Na zona Sul da província de Sofala (Moçambique), encontram-se 33 Unidades Sanitárias todas elas com maternidades a funcionarem sem energia eléctrica”.

A electrificação das unidades sanitárias é essencial, na medida em que permite receber instrumentação médica que de outra forma seria impossível obter no local, melhorando, assim, significativamente as suas condições em termos de higiene e serviços prestados pela unidade. Uma vez que muitas das unidades se situam em zonas isoladas, não integradas na rede eléctrica, os sistemas solares PV autónomos são uma solução para o abastecimento de energia.

Apresenta-se na figura 29 uma adaptação ¹⁴ desse sistema a alimentar cargas AC para uso médico como por exemplo um esterilizador ou um frigorífico para armazenamento de vacinas. Esta aplicação permite, igualmente, repensar a utilização de geradores como

¹⁴ Ver: 1.8) Aplicações e Topologias - Sistema isolado doméstico

abastecimento primário, uma vez que o seu consumo se torna num encargo mensal cada vez menos suportável face aos preços do diesel, sobretudo a nível dos hospitais rurais. Apresenta-se na figura 30 o modelo híbrido ¹⁵ para solucionar estes casos.

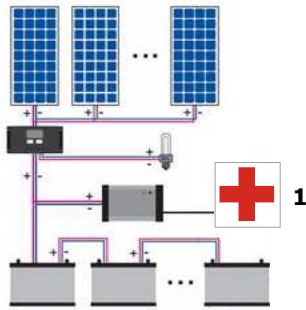


Fig.29 – Sistema solar PV para unidades sanitárias: 1) instrumentação médica

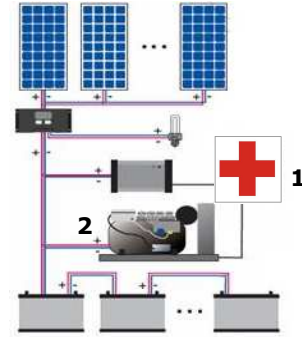


Fig.30 – Sistema solar PV híbrido para hospital Rural: 1) instrumentação médica AC, 2) gerador auxiliar

Estes modelos têm vindo a ser implementados com sucesso em Moçambique. Observa-se na figura 31 uma aplicação numa pequena unidade sanitária na zona da Beira e a instalação dos módulos que substituíram em 2007 os geradores diesel no hospital rural de Muxungue (figura 32).



Fig.31 – Sistema solar PV numa pequena unidade sanitária, Foto: Prof. Manuel Guedes (IST)



Fig.32 – Sistema solar PV hospital rural Muxungue, Fonte: FUNAE

¹⁵

Ver: 1.8) Topologias e Aplicações – Sistema híbrido

2.3.3 Serviços de comunicação

Os meios de comunicação e os serviços por eles prestados, surgem nesta abordagem como uma forma de desenvolvimento social no combate ao isolamento das populações. Neste contexto, estes serviços podem dar resposta a um universo de utilidades, onde se destaca a comunicação de urgências das unidades sanitárias, catástrofes naturais no alerta da protecção civil, ou ainda, a necessidade que as populações têm de utilizar um telefone público que lhes permita comunicar com o resto do mundo. O uso de painéis fotovoltaicos no abastecimento de meios de comunicação é uma prática frequente na Europa e nos restantes países desenvolvidos, o que traduz por um lado, uma certa fiabilidade nestes sistemas, por outro, a capacidade de resposta a este tipo de serviços.

As características destes sistemas de alimentação dependem do tipo de aplicações:

- Rádios de comunicação.
- Retransmissores de radiocomunicação.
- Telefones de uso público em comunidades isoladas.

Para satisfazer estes sistemas apresentam-se duas soluções. A figura 33 demonstra da adaptação do sistema PV ¹⁶ a alimentar um sistema DC (exemplo: tensões de 12 V, 24 V ou 48 V) ou a figura 34 onde o mesmo sistema é usado num inversor para alimentar um a AC (exemplo: tensões de 115 V ou 230 V). Observa-se na figura 35 um sistema PV a possibilitar uma unidade sanitária (US) a ter acesso a água potável e a meios de comunicação.

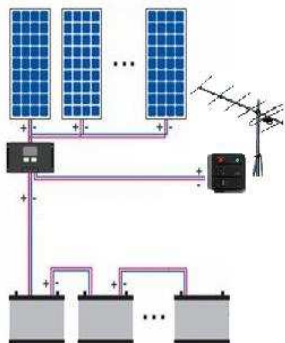


Fig.33 – Sistema PV para serviços de comunicação DC

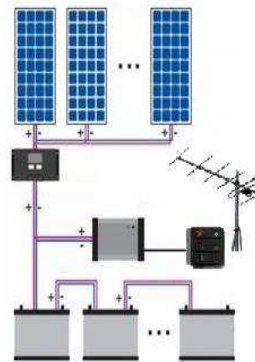


Fig.34 – Sistema PV para serviços de comunicação AC

¹⁶

Ver: 1.8) Aplicações e Topologias – Sistema isolado não domestico



Fig.35 – US (Sofala) abastecimento de água potável e meios de comunicação através de um sistema solar PV

Foto: Salvador Jorge (Setembro 2008)

3 ESTUDO DE CASO – ELECTRIFICAÇÃO DE UMA UNIDADE SANITÁRIA EM SOFALA ATRAVEZ DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

“Actualmente, na zona Sul da província de Sofala (Moçambique), encontram-se trinta e três Unidades Sanitárias, todas elas com apoio à maternidade, a funcionarem sem energia eléctrica”. Seria possível abastecer estas unidades recorrendo a sistemas de produção de energia solar PV? Apresenta-se, ao longo deste capítulo, um estudo de caso que tem como objectivo principal verificar a viabilidade técnica da aplicação de um sistema solar PV autónomo, em unidades sanitárias na zona Sul da província de Sofala.

3.1 Amostras utilizadas

Por se tratar de um caso real e por existirem dados suficientes obtidos por consulta on-line (medias mensais de radiação e temperatura), escolhe-se a zona Sul de Sofala como ponto de partida para uma primeira amostra, que juntamente com os dados (consumos) da unidade sanitária, servem em conjunto como objecto para a realização do dimensionamento. O resultado é, neste sentido, condicionado pela localização geográfica (coordenadas) da unidade. No entanto, esta amostra revela-se insuficiente para elaborar um estudo mais aprofundado. Para uma simulação hora a hora do sistema são necessários registos de temperaturas diárias (máximas e mínimas) e, uma vez que não foi possível realizar um estudo in loco, por falta de apoio financeiro, para registar esses dados, a escolha é condicionada por um local que possa, através dos seus registos diários, fornecer essa informação. Existe assim, necessidade de encontrar uma segunda amostra. A cidade da Beira, por ter uma estação meteorológica, surge como primeira escolha para completar este estudo.

Amostra I

Situada no centro de Moçambique, Sofala é uma província com uma área de 68 018 km², tendo em 1997 uma população de 1 289 390 habitantes (censo de 1997), distribuídos por doze distritos. De acordo com os resultados preliminares do censo de 2007, a província tem agora uma população de 1 543 909 habitantes, representando um aumento de 19,7% em dez anos [consulta ao portal do governo de Moçambique, 18 Março de 2008].

A zona Sul de Sofala encontra-se, na actualidade, abrangida por um programa governamental de reabilitação do qual a Dr.^a Lurdes Maboana é responsável. O levantamento relatado pela própria nesta província, menciona ao longo dos distritos de Buzi, Machanga e Chibabava, trinta e seis unidade sanitárias activas das quais trinta e três funcionam sem nenhum recurso a energia eléctrica. Nas restantes unidades, duas são electrificadas através de gerador diesel e uma é abastecida pela central hidroeléctrica de Cabora Bassa. O relato da Dr.^a Lurdes Maboana menciona ainda que as unidades sanitárias são do tipo B, isto é, são unidades que desempenham actividades de assistência médica, enfermagem, laboratório, educação sanitária, saneamento, bioestatística, assistência à maternidade, à criança com lactário e assistência dentária. Não existem quaisquer plantas destas unidades pelo que, o modelo de referência apresentado na figura 36 é feito de acordo com descrições e dados fornecidos pela Cruz Vermelha de Moçambique e procura representar a forma como se encontra dividida uma unidade de saúde, de acordo com as respectivas zonas de funcionamento.

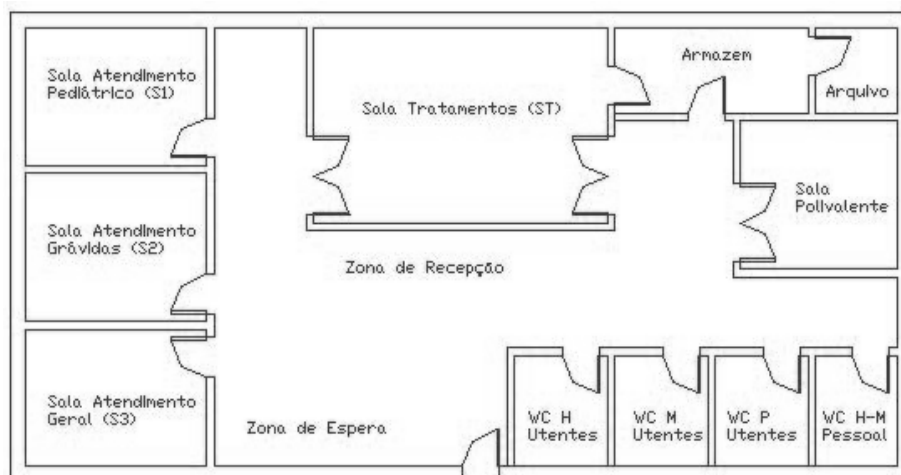


Fig.36 – Modelo de distribuição da Unidade Sanitária (Sofala)

Inicialmente para efeitos de dimensionamento a distribuição no espaço é tida em conta apenas como uma referência e não como um dado, que altere significativamente o cálculo final da potência necessária a instalar na unidade. Neste sentido desprezamos as áreas da unidade.

Se as medições físicas da unidade são desprezadas, o mesmo não se pode dizer relativamente à localização geográfica, isto porque é fundamental ter coordenadas exactas do local, para se obter médias das temperaturas e radiações a aplicar para efeitos de cálculo no dimensionamento. Por essa razão refere-se atrás que a zona sul de Sofala era apenas o ponto de partida da primeira amostra sendo que a localidade escolhida é Buzi (figura 37), latitude: 19°50' S, longitude: 34°43' E.

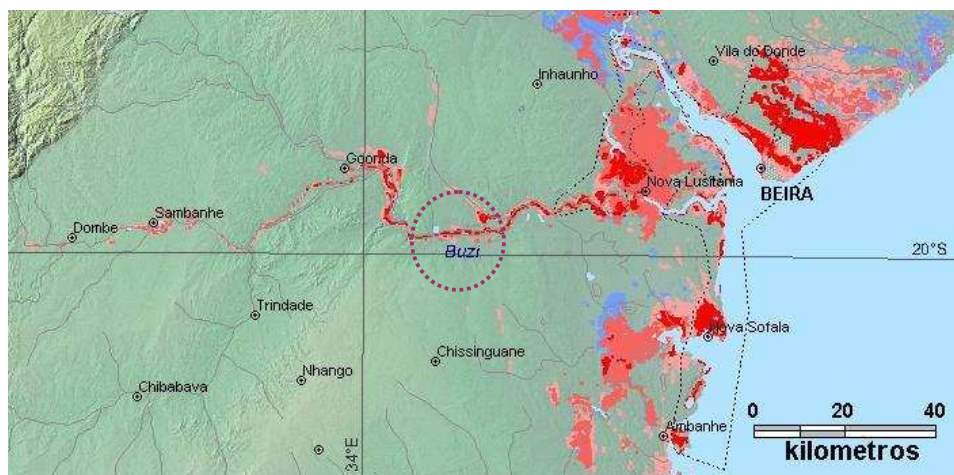


Fig.37 – Localização geográfica de Buzi

Na figura 38 apresenta-se o mapa de Sofala. Nele é possível observar o agregado populacional de cada distrito, as suas divisões, localidades, hospital e principais centros de saúde que existem ao longo desta província. Como se pode verificar, a localização geográfica de Buzi é próxima da cidade da Beira (cerca de 50 km em linha recta). Este factor é preponderante na escolha deste local, na medida em que nos permite manter alguma coerência entre as duas amostras. Embora não seja exactamente o mesmo local, as médias mensais de radiação e temperatura consideradas, são iguais por consulta on-line à base de dados da NASA através do programa RETScreen em Janeiro de 2007.

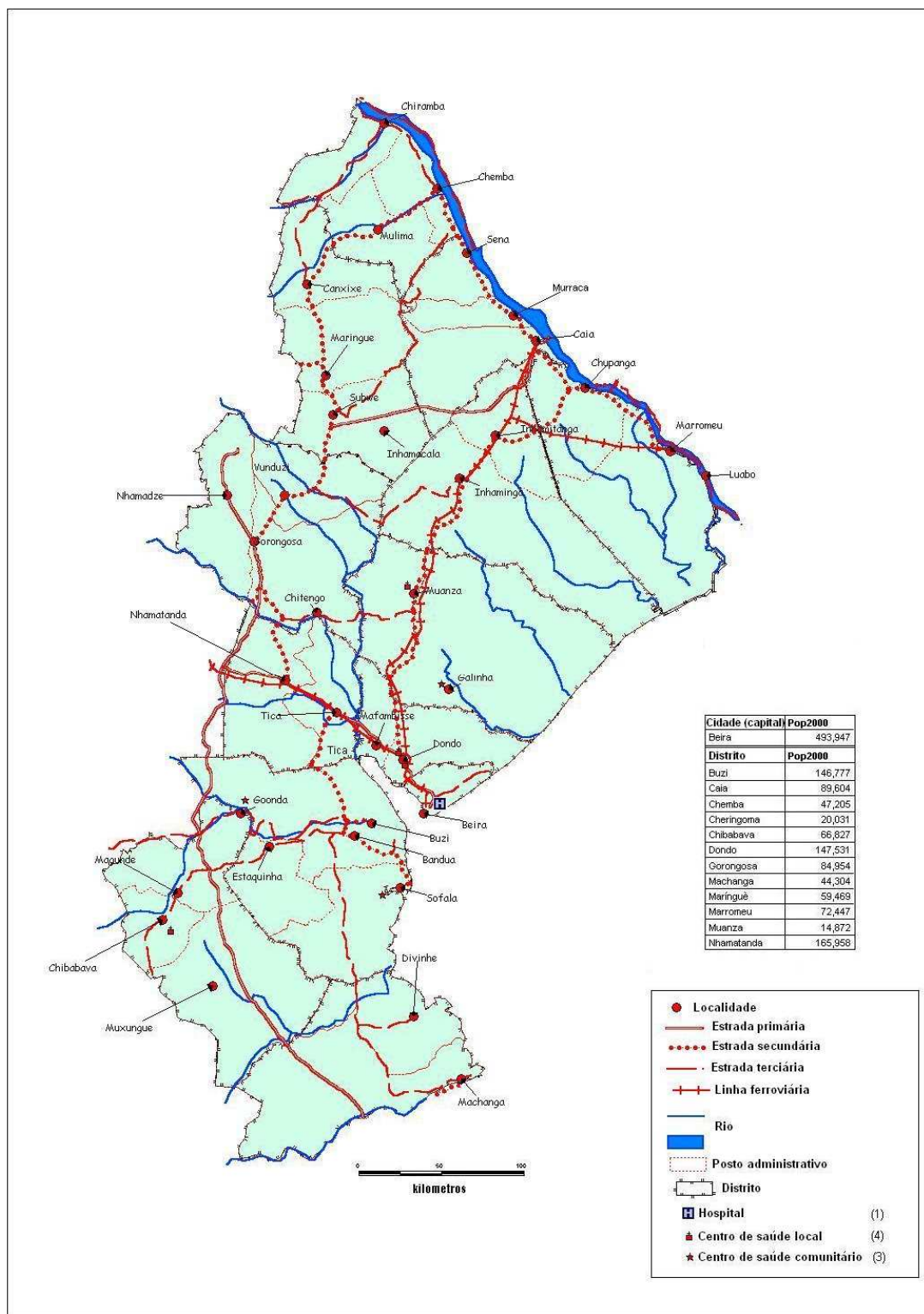


Fig.38 – Mapa da província de Sofala

Para se proceder ao cálculo da potência total a ser instalada, fazem ainda parte desta amostra duas tabelas, uma de instrumentação médica (tabela 6) e outra de luminárias com respectivos consumos (tabela 7):

• **Instrumentação médica:** As unidades referidas pela Cruz Vermelha de Moçambique encontram-se, na actualidade, numa situação precária em termos de condições e recursos. Apresenta-se na tabela 6 uma lista de instrumentação desejável tendo em conta as necessidades das unidades do tipo B e o local onde estas se encontram. A lista baseia-se em sugestões que foram gentilmente fornecidas pela Sra. Enfermeira Maria do Rosário Athayde, enfermeira chefe de urgências do Centro Hospitalar de Lisboa Central (CHLC) na ocasião em que integrou o júri do trabalho final da disciplina de Energias Renováveis e Transporte do curso MIEEC da FCT/UNL. A lista encontra-se descrita juntamente com os consumos de cada aparelho – consulta efectuada através dos respectivos manuais de fabricantes.

Tabela 6 – Instrumentação desejável para a unidade sanitária

Local de aplicação	Instrumentação	Consumo	Quantidade
Salas de atendimento S1 S2 S3	Tensiómetro	Bateria LR6	3
	Otoscópio	Bateria LR6	3
	Balança electrónica	Bateria LR6	3
	Pantofe ¹⁷	100 Wh/dia	3
Sala de tratamento ST	Monitorização de Sinais Vitais	35 Wh/dia	1
	Estufa de secagem e esterilização	100 Wh/dia	1
	Nebulizador	30 Wh/dia	1
	Aspirador de secreções	60 Wh/dia	1
	Máquina de fazer gelo	200 Wh/dia	1
	Pantofe	100 Wh/dia	2
Armazém A	Frigorífico classe A	500 Wh/dia	1
	Desumidificador	300 Wh/dia	1
	Carregador de LR6 (AA)	10 Wh/dia	1
	Fogão eléctrico portátil	400 Wh/dia	1

¹⁷ Pantofe – designação informal de candeeiros transportáveis para uso médico com braço tipo pantógrafo.

• **Luminárias:** O critério de iluminação a aplicar é o de privilegiar a iluminação do tipo local uma vez que, por estas unidades funcionarem sem energia eléctrica, existe um grande aproveitamento da iluminação natural. Esta é a principal razão pela qual se incluem pantofes (focos locais direccionáveis para aplicações hospitalares) nas salas de atendimento e de tratamento. No entanto, para proporcionar melhores condições de trabalho, sobretudo na prevenção contra a fadiga e garantir iluminação nos meses em que a luz solar disponível é mais escassa é apresentada na tabela 7 uma lista de luminárias, consumos, quantidades e respectivas zonas onde são aplicadas.

Outro aspecto importante, a ter em conta é que por se tratar de uma aplicação numa zona remota, consideram-se características (quando possível) e fabricantes iguais, para ser mais fácil manter o stock de substituição.

Tabela 7 – Luminárias da unidade sanitária

Local de aplicação	Consumo da Luminária	Quantidade
S1	2x36 Wh/dia	1
S2	2x36 Wh/dia	1
S3	2x36 Wh/dia	1
ST	2x36 Wh/dia	2
Corredor	18 Wh/dia	5
WC Utentes 1	18 Wh/dia	1
WC Utentes 2	18 Wh/dia	1
WC Pediatria	18 Wh/dia	1
WC Pessoal	18 Wh/dia	1
Sala Polivalente (SP)	2x36 Wh/dia	1
Armazém	18 Wh/dia	2
Arquivo	18 Wh/dia	1
Entrada Exterior	50 Wh/dia	1

Amostra II

Localizada na costa de Moçambique a cidade de Beira (figura 39), latitude: 19°50' S longitude: 34°52' E é a capital da província de Sofala. Com uma população de 560 mil habitantes, segundo o censo de 2006 (consulta on-line ao Portal Governamental de Moçambique, Janeiro de 2007) este município foi o local escolhido para a segunda amostra. A razão, já exposta anteriormente, prende-se com facto desta cidade possuir uma estação meteorológica que fornece, a partir do Instituto Nacional de Meteorologia com sede em Maputo, as temperaturas máximas e mínimas diárias da Beira necessárias para a realização deste estudo.

Os dados foram fornecidos em 18 Dezembro de 2007 pelo INAM (Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique), deles fazem parte os registos entre 1997 e 2006 das temperaturas máximas e mínimas da Beira. Os consumos e características da unidade são assumidos como iguais aos registados na primeira amostra.

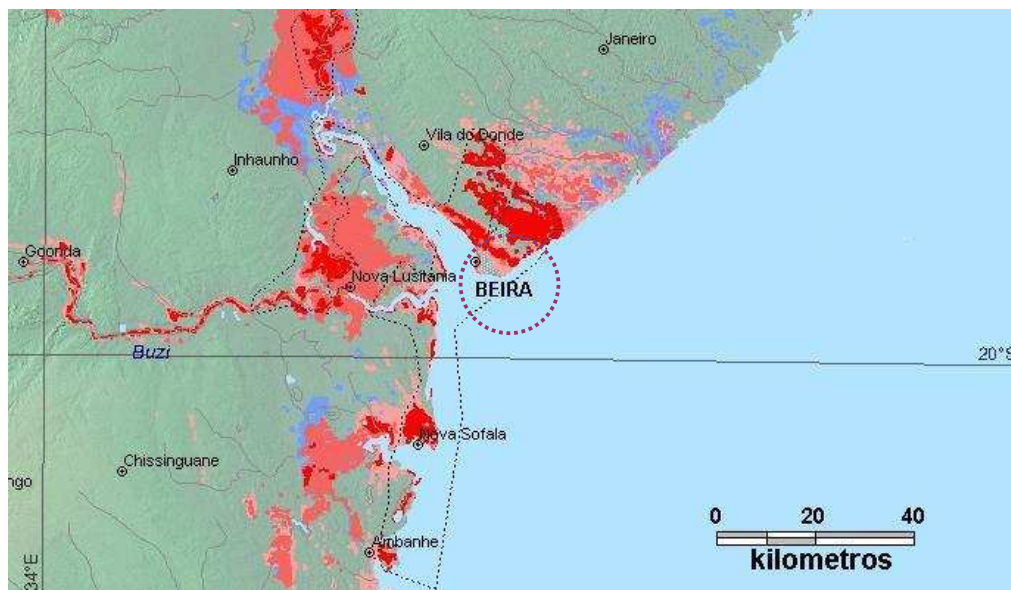


Fig.39 – Localização geográfica da Beira

3.2 Delineamento do Estudo

O estudo é dividido em duas fases. A primeira é constituída por um dimensionamento do sistema solar PV recorrendo às ferramentas do software RETScreen¹⁸. Na segunda, elabora-se uma modelação simples do mesmo sistema no qual se pretende observar hora a hora o seu comportamento de acordo com perfis de carga adequados ao normal funcionamento da unidade sanitária mencionada nas amostras.

Para o dimensionamento, o procedimento segue de acordo com os dados de utilização (fornecidos pela Cruz Vermelha) e a lista de equipamentos (enfermeira do CHLC) através dos quais são estabelecidos perfis de carga que permitem aproximar a energia total diária a fornecer para unidade, isto é, o consumo em kWh. Com base nessa aproximação e nas médias do mês que regista índices mais baixos de temperatura e radiação, dimensiona-se o sistema solar PV do qual fazem parte:

- **O cálculo do número de módulos solares PV** a alimentar o sistema; a escolha de um inversor adequado, uma vez que o sistema alimenta cargas AC.
- **O dimensionamento do banco de baterias**, de modo a assegurar o abastecimento nos períodos em que o recurso é insuficiente ou não está disponível (exemplo: manter o frigorífico a funcionar durante a noite).
- **A escolha do regulador de carga**, que efectua a gestão da carga de forma a obter perfis compatíveis com a radiação disponível e com a capacidade das baterias.

¹⁸ RETScreen – Fornecido gratuitamente pela RetScreen Internacional, o software PV3 versão 3.2 é usado para o dimensionamento de sistemas PV. Este software interligado com o Microsoft Office Excel é uma ferramenta de cálculo constituída por cinco folhas diferentes que permitem calcular respectivamente: produção de energia, análise de custo, redução dos GEE (gases de efeito de estufa), resumo financeiro, sensibilidade e análise de risco. Através desta aplicação é possível efectuar uma análise global do projecto PV a implementar. www.etscreen.net

Uma vez que estamos na presença de um sistema dinâmico, pretende-se com base no sistema dimensionado e na Amostra II, elaborar uma modelação simples a partir dos resultados obtidos. Desta forma ir-se-á equilibrar um conjunto de simplificações matemáticas com a aproximação real de cada elemento do sistema solar PV dimensionado através de modelos matemáticos e recorrendo à folha de cálculo Excel.

Observa-se na figura 40 um diagrama de blocos que pretende simplificar a forma como é conduzido o estudo de caso das unidades sanitárias de Sofala.

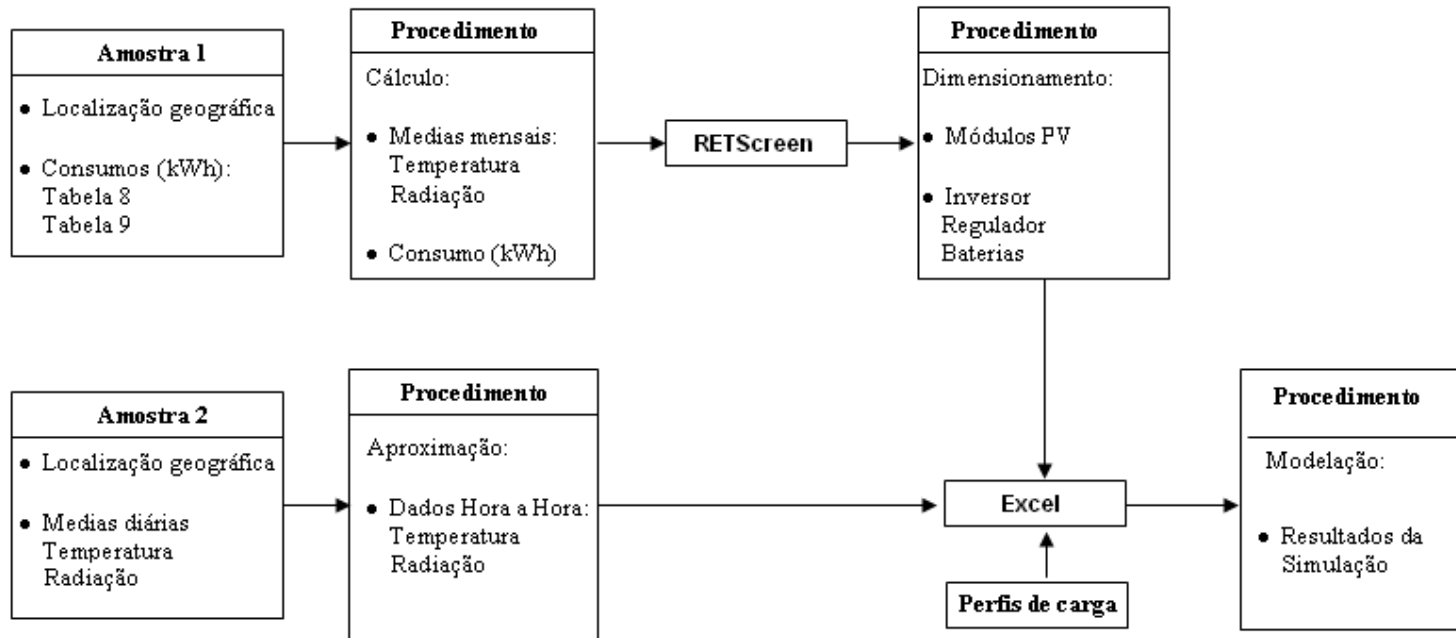


Fig.40 – Modelo de delineamento do estudo de caso das unidades sanitárias de Sofala

3.3 Dimensionamento

3.3.1 Exposição solar de Buzi

Inicialmente, pretende-se saber quais as médias de temperatura/radiação para dimensionar cada elemento do sistemas solar PV. Para tal, selecciona-se a página *RETScreen® Solar Resource and System Load Calculation - Photovoltaic Project* e colocam-se as coordenadas de Buzi latitude: -19°50' N, longitude: 34°43' E, acede-se à base de dados da NASA, que se encontra interligada com software. Obtêm-se, assim, as medias mensais da temperatura e da radiação horizontal à superfície da localidade. Nota: Estes dados, se não constam da lista das estações predefinidas, devem ser inseridos manualmente.

Pelos dados consultados, verifica-se que os registos de Buzi são idênticos aos da cidade da Beira latitude: -19°50' N, longitude: 34°52' E. Esses dados constam na figura 41, onde se pode observar de acordo com as tabelas das médias mensais, as médias anuais da radiação solar horizontal, radiação solar à superfície e temperaturas registadas.

RETScreen® Solar Resource and System Load Calculation - Photovoltaic Project					
Site Latitude and PV Array Orientation		Estimate		Notes/Range	
Nearest location for weather data		Buzi		See Weather Database	
Latitude of project location	°N	-19,8		-90.0 to 90.0	
PV array tracking mode	.	Fixed			
Slope of PV array	.	30,0		0.0 to 90.0	
Azimuth of PV array	.	0,0		0.0 to 180.0	

Monthly Inputs					
Month	Fraction of month used (0 - 1)	Monthly average daily radiation on horizontal surface (kWh/m ² /d)	Monthly average temperature (°C)	Monthly average daily radiation in plane of PV array (kWh/m ² /d)	Monthly solar fraction (%)
January	1,00	6,58	27,4	6,37	100%
February	1,00	6,22	27,5	5,57	100%
March	1,00	6,03	26,5	4,86	100%
April	1,00	5,47	25,2	3,74	100%
May	1,00	4,67	22,8	2,69	100%
June	1,00	4,19	20,8	2,12	100%
July	1,00	4,36	20,3	2,41	100%
August	1,00	5,00	21,2	3,22	100%
September	1,00	5,81	23,0	4,41	100%
October	1,00	6,33	24,9	5,49	100%
November	1,00	6,58	26,4	6,18	100%
December	1,00	6,56	26,8	6,46	100%

		Annual	Season of use
Solar radiation (horizontal)	MWh/m ²	2,06	2,06
Solar radiation (tilted surface)	MWh/m ²	1,63	1,63
Average temperature	°C	24,4	24,4

Fig.41 - Médias mensais e anuais de temperatura e radiação em Buzi

Fonte: RETScreen

3.3.2 Previsão do consumo energético da unidade sanitária

De acordo com as características do sistema e tendo por base a tabela de equipamentos e um perfil de carga adequado a um funcionamento médio comum (figura 42), obtém-se uma previsão do consumo energético necessário para a unidade sanitária.

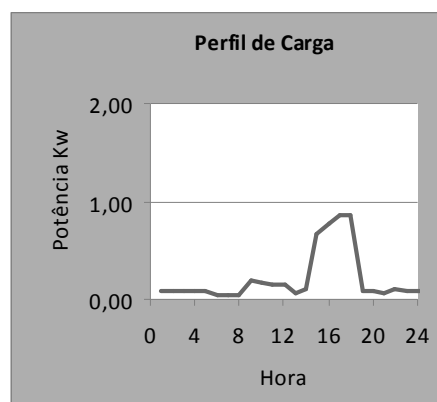


Fig.42 - Perfil de carga adequado a um funcionamento médio comum de uma unidade sanitária (ver anexo – Modelação)

A previsão é feita tendo em conta o tempo diário (horas) do funcionamento e a potência de cada aparelho/luminárias. Verifica-se na figura 43 o resultado das médias diárias e anual do consumo da unidade.

Load Characteristics		Estimate			
Application type	-	Off-grid			
Use detailed load calculator?	yes/no	Yes			
Description	AC/DC	Solar-load correlation	Load (kW)	Hours of use per day (h/d)	Days of use per week (d/wk)
Patofo (S1,S2,S3)	AC	Zero	0,300	2,00	5
Monit. Sinais Vitais (ST)	AC	Zero	0,035	2,00	3
Estufa (ST)	AC	Zero	0,100	0,25	5
Nebulizador (ST)	AC	Zero	0,030	4,00	5
Aspirador de Sec. (ST)	AC	Zero	0,060	3,00	5
Maquina de fazer gelo (ST)	AC	Zero	0,200	0,25	5
Patofes (ST)	AC	Zero	0,200	5,00	5
Frigorifico classe A (A)	AC	Zero	0,075	8,00	7
Desumidificador (A)	AC	Zero	0,300	1,00	7
Carregador (A)	AC	Zero	0,010	8,00	1
Fogao electrico (A)	AC	Zero	0,200	1,00	5
Lumi (S1,S2,S3, SP e ST)	AC	Zero	0,432	4,00	5
Lumi Corredores	AC	Zero	0,090	4,00	5
Lumi (A1, A2 e WVC)	AC	Zero	0,126	2,00	5
Luminaria exterior	AC	Zero	0,050	8,00	7
			Daily average	Annual	
DC energy demand	kWh (DC)		0,000	0,0	
AC energy demand	kWh (AC)		4,566	1.666,7	
AC peak load	kW (AC)			2,208	

Fig.43 - Previsão dos consumos energéticos, Fonte: RETScreen

3.3.3 Componentes do sistema solar fotovoltaico

Tal como foi abordado no ponto 1.7 *Aplicações e Topologias*, fazem parte do sistema solar PV autónomo a alimentar, cargas AC: painel solar PV (constituído por vários módulos solares PV); regulador de carga; banco de baterias; inversor. Seguindo o esquema de ligações da figura 44, tendo em conta os resultados anteriormente obtidos referentes aos dados meteorológicos relevantes e à previsão dos consumos, procede-se ao dimensionamento de cada um dos elementos do sistema.

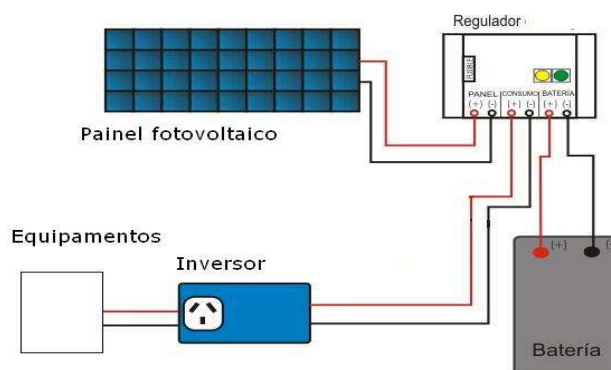


Fig.44 -Esquema de ligações do sistema solar fotovoltaico a ser implementado

Seleccionando a folha de cálculo *RETScreen® Energy Model - Photovoltaic Project* colocam-se as características do sistema como indica a figura 45. Ou seja, de acordo com uma aplicação stand-alone (*off-grid*), suportado por baterias (*PV system configuration – PV/battery*) sem nenhuma fonte ou sistema energético auxiliar (*Non-rechargeable batteries*), uma vez que o fornecimento é feito exclusivamente através de baterias recarregáveis

System Characteristics		Estimate
Application type	-	Off-grid
PV system configuration	-	PV/battery
Base Case Power System		
Source	-	Non-rechargeable batteries

Fig. 45 - Características do sistema, Fonte: RETScreen

3.3.3.1 Módulos fotovoltaicos

O cálculo do número de módulos solares que perfazem o painel PV é feito com base nos dados obtidos em 4.1.1 *Exposição Solar de Buzi* e em 4.1.2 *Previsão do consumo energético da unidade sanitária*. Uma vez obtidos estes dados é seleccionado de acordo com o país, fabricante e modelo os módulos pretendidos tendo em conta as suas características (figura 46). Verifica-se que utilizando módulos de 160 W são necessários, no total, 21 módulos para se conseguir a potência desejada para alimentar as cargas apresentadas na figura 43 (previsão de consumos) durante o período de tempo previsto.

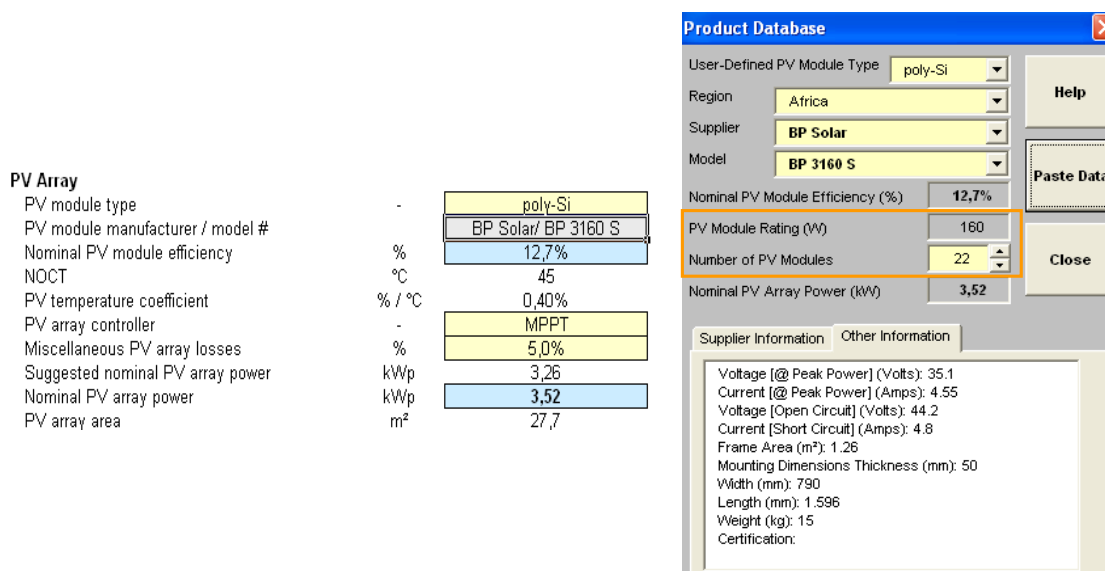


Fig.46 - Simulação dos módulos, Fonte: RETScreen

Depois de simulado fixa-se o número de 22 módulos, de 160 W cada, para a implementação do painel PV. Os resultados (figura 46) mostram que a potência nominal é superior e que permite ainda uma margem em relação ao valor mínimo sugerido. O manual do fabricante bem como as restantes características do módulo encontram-se no Anexo Digital - *Dimensionamento*.

3.3.3.2 Inversor

O inversor é escolhido de igual forma, ou seja tendo em conta os parâmetros mínimos sugeridos no simulador. Verifica-se na figura 47 esses resultados.

Power Conditioning

Suggested inverter (DC to AC) capacity	kW (AC)	2,21
Inverter capacity	kW (AC)	3,0
Average inverter efficiency	%	93%
Miscellaneous power conditioning losses	%	0%

Fig.47 - Simulação do inversor, Fonte: RETScreen

O inversor escolhido, de 3 kW (figura 48) com um rendimento de 93%, (segundo a consulta feita ao distribuidor FFSolar, em Fevereiro de 2007) está dentro dos parâmetros sugeridos nos resultados do software. Ainda de acordo com o mesmo este inversor é concebido para um ambiente mais protegido, tem um ventilador que faz circular o ar de fora para dentro do inversor/carregador permitindo assim uma potência de saída contínua mais alta. Possui um filtro de ar removível e lavável, de fácil manutenção, desejável para este tipo de aplicação, uma vez, que não necessita de um técnico especializado no local para o fazer.

Especificações

Potência nominal (25°C)	3000 W
Tensão de entrada	48 V _{CC}
Tensão de saída	230 V _{CA} / 50 Hz
Sistema Standby	<input checked="" type="checkbox"/>
Consumo Standby	3 W
Carregador de baterias (Fonte CA)	45 A _{CC}
Peso	28 kg



Fig.48 - Especificações do inversor, fonte: catalogo fabricante
Fonte: FFSolar

3.3.3.3 Banco de baterias

Observa-se na simulação das baterias (figura 49), que a capacidade é de 298 Ah. De acordo com este valor, fez-se a consulta aos fabricantes para obter um valor o mais próximo possível (por excesso) do valor aconselhado. Aumentou-se de dois para três os dias de autonomia das baterias de forma a ter uma margem mais segura de funcionamento da unidade sanitária.

Battery		
Days of autonomy required	d	2,0
Nominal battery voltage	V	48,0
Battery efficiency	%	85%
Maximum depth of discharge	%	70%
Charge controller (DC to DC) efficiency	%	95%
Battery temperature control	-	Minimum
Minimum battery temperature	°C	15,0
Average battery temperature derating	%	1%
Suggested nominal battery capacity	Ah	298
Nominal battery capacity	Ah	550

Fig.49 - Simulação da bateria, Fonte: RETScreen

Assim, as baterias estacionárias escolhidas são compostas por elementos de 2 V com uma capacidade de 550 Ah que podem chegar até aos cinco dias de autonomia (consulta ao distribuidor FFSolar em Fevereiro de 2007). Uma vez que o regulador funciona a 48 V e os elementos são de 2 V, vão ser necessárias 24 baterias que completam, assim, o banco a ser utilizado no sistema (figura 50).



Fig.50 - Banco de baterias, Fonte: BPSolar

3.3.3.4 Regulador de carga

O regulador de carga é o elemento responsável pela protecção das baterias contra sobrecargas (figura 51). Por outro lado, é o elemento que vai assegurar as descargas para que a energia produzida seja armazenada com maior eficácia na bateria. Consultados os fabricantes, o regulador escolhido é do tipo MPPT¹⁹ que, de acordo com os mesmos, permite trabalhar com a tensão máxima dos módulos onde a redução à tensão da bateria resulta no aumento da corrente de carregamento. Desta forma, o sistema PV pode alcançar, de acordo com o fabricante, o seu melhor desempenho, podendo aumentar a potência PV sistema até 30%.

Especificações

	MX 60
Corrente de carga nominal	60 A
Tensão nominal da bateria (programável)	12, 24, 32, 36, 48, 54 ou 60 V
Módulos em série	2 - 6
Tensão FV de circuito aberto	140 V
Dimensões (AxLxP)	36,8cm x 14,6cm x 14,6cm
Peso	5,4 kg
Sensor de temperatura RTS	opcional



Fig.51 : Especificações do regulador de carga

Fonte: FFSolar

Extra: Controlador/indicador

Existem controladores no mercado que facilitam ao utilizador fazer a leitura do estado do sistema. Este elemento é acoplado ao inversor e dispõe de um pequeno ecrã (para leitura de funcionamento) permitindo assim a programação de todos os parâmetros e também coordena a operação do sistema completo para maximizar o seu desempenho. Por se tratar de uma aplicação para uma zona remota, é desejável ter este tipo de equipamento auxiliar, para se poder ter uma melhor autonomia do sistema e controlar possíveis avarias que podem ser reportadas através de uma simples leitura feita por pessoal não especializado.

¹⁹

Maximum Power Point Tracking - rastreio de ponto máximo de potência

3.4 Modelação

Pretende-se, com base no perfil de cargas, observar hora a hora num dia característico as variações das várias grandezas do sistema solar PV durante os doze meses do ano. Para isso apresenta-se neste ponto a justificação dos cálculos e a apresentação das grandezas que intervêm na aplicação informática que foi desenvolvida neste trabalho, e que se supõe original. Esta aplicação integra e realiza em EXCEL vários modelos já existentes. Recebendo dados meteorológicos fornecidos pelo utilizador, a aplicação calcula parâmetros e grandezas de funcionamento dos painéis foto voltaicos, permitindo a previsão do desempenho de um sistema PV autónomo que integre esses painéis. Em anexo esta aplicação e seu uso estão descritos com mais pormenor.

As grandezas que serviram para a construção do modelo desenvolvido para a análise do desempenho do sistema PV (ver Anexo – *Modelação*) foram divididas da seguinte forma:

- “Simulação” (figura.52)
- “1.Meteorologia”
- “2.1 Característica dos Módulos”
- “2.2 Corrente PV”
- “3.Baterias”
- “4.Cargas”
- “5.Inversor”
- “6.Regulador de Carga”.
- “Análise Anual”

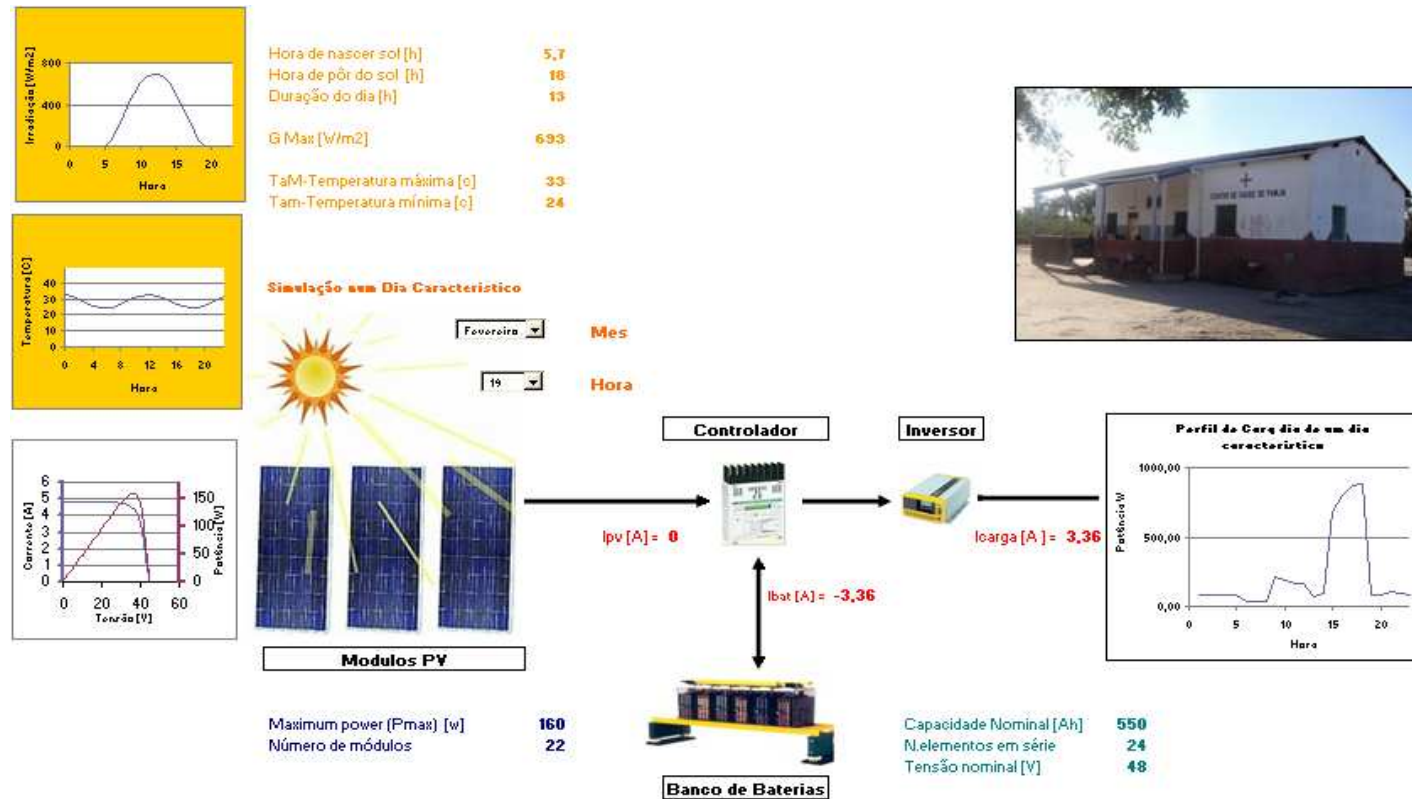


Fig.52 - Simulação (Mod_Beira.xls)

3.4.1 Meteorologia

Interessa neste primeiro ponto obter a aproximação real das condições meteorológicas no local de forma a proporcionar ao sistema o comportamento solar a que vai estar submetido na simulação hora a hora. Para isso consideram-se os dados fornecidos pelo INAM das temperaturas máximas e mínimas diárias (ver Anexo Digital – *Modelação*) e, por consulta à base de dados da NASA da estação meteorológica da Beira. As médias diárias da radiação solar horizontal e no plano inclinado (Tabela 8).

Tabela 8 – Médias diárias da radiação solar horizontal e no plano inclinado (RETScreen – Nasa)

Mês	Radiação solar diária – horizontal kWh/m²/d	Radiação solar diária – inclinado kWh/m²/d
Janeiro	6,58	6,38
Fevereiro	6,22	5,58
Março	6,03	4,87
Abril	5,47	3,75
Maio	4,67	2,71
Junho	4,19	2,15
Julho	4,36	2,43
Agosto	5,00	3,24
Setembro	5,81	4,43
Outubro	6,33	5,50
Novembro	6,58	6,19
Dezembro	6,56	6,47
Anual	2,06	1,63

Apresentam-se ao longo deste ponto as grandezas que serviram para a construção da ferramenta informática (ver anexo – *Modelação*). Estas grandezas são apresentadas de acordo com a ordem em que surgem na folha de cálculo.

Declinação, δ - A declinação é a posição angular do Sol ao meio-dia solar, em relação ao plano do equador. Esta grandeza é dada pela expressão aproximada de Cooper e varia entre -23.45° e 23.45° :

$$\delta = 23.45 \sin \left(2\pi \left(\frac{n + 284}{365.25} \right) \right) \quad (3.1)$$

n - dia central Juliano²⁰

Ângulo da hora solar, ω - A hora solar varia entre as 0h e as 23h, o seu ângulo corresponde ao deslocamento angular Este ou Oeste do meridiano local; valores negativos para a manhã, valores positivos para a tarde. Desta forma o ângulo da hora solar é zero ao meio-dia solar (ponto mais alto que o sol atinge nesse dia) e varia 15° por cada hora solar.

Exemplo: às 10h corresponde um $\omega = -30^\circ$ às 16 h corresponde $\omega = 60^\circ$

Ângulo do nascer do sol, ω_s - O ângulo do nascer do sol corresponde ao ângulo da hora solar em que o sol nasce e é obtido através da seguinte relação:

$$\omega_s = -\tan \psi \times \tan \delta \quad (3.2)$$

Onde δ é a declinação calculada em (3.1) e ψ o valor da latitude do local escolhido.

²⁰ Dia Juliano – é um sistema usado na Astronomia para contagem de tempo baseado no calendário de Júlio César. Desta forma trata-se de uma sequência de números inteiros, um para cada dia. Exemplo: $n=10$ para o dia 10 Janeiro, $n=35$ para o dia 4 Fevereiro.

Nascer do Sol, N_s (h) - O nascer do Sol acontece quando o Sol aparece no horizonte na direcção leste. Este momento em horas pode ser dado através da expressão 3.3.

$$N_s = 12 - \frac{\omega_s}{15} \quad (3.3)$$

Duração do dia, D_D (h) - A duração do dia corresponde ao número de horas disponíveis de luz Solar e pode ser calculado através da expressão 3.4.

$$D_D = 2 \times \frac{\omega_s}{15} \quad (3.4)$$

Pôr do sol, P_s (h) - O pôr do Sol é o momento em que o Sol se oculta no horizonte na direcção oeste, é portanto o inverso do nascer do Sol e pode ser calculado através da expressão 3.5.

$$P_s = N_s + D_D \quad (3.5)$$

Através das grandezas, anteriormente apresentadas, foi possível chegar aos valores de Radiação e Temperatura (ver anexo – Modelação) de acordo com as seguintes expressões:

Radiação, G_{MAX} (W/m²) – A radiação solar máxima, modelo de céu limpo (sem nebulosidade), é obtida através da expressão 3.6 [RIGOLLIER, BOUER,2000].

$$G_{MAX} = \frac{G_{sdi} \times 1000 \times \pi^2}{48 \times \omega_s \times \frac{\pi}{180}} \quad (3.6)$$

Radiação (hora a hora), G (W/m²) - A distribuição da irradiação solar no dia central do mês, modelo de céu limpo (sem nebulosidade), é obtida através da expressão 3.7 [RIGOLLIER, BOUER,2000]

$$G_l = G_{MAX} \times \cos\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{\omega}{\omega_s}\right) \quad (3.7)$$

Hora Solar < Hora do nascer do Sol => $G = 0$

Hora Solar > Hora do por do Sol => $G = 0$

Temperatura do ar (hora a hora), T

A temperatura do ar hora a hora é aproximada por uma distribuição sinusoidal da temperatura no dia central de cada mês (dia juliano) e é dada pela expressão 3.8 [AGUILAR, PEREZ, DE LA CASA, 2006]

$$T_a = T_{am} + \frac{T_{aM} - T_{AM}}{2} \times (1 + \cos(a\omega + b)), \text{ onde } \omega_s \in [-\omega_s, \omega_s] \quad (3.8)$$

$$a = \frac{\pi}{\omega_s - \frac{\pi}{6}} \quad b = -a \times \frac{\pi}{6}$$

T_{am} - Temperatura do ar mínima de um dia característico, calculada com base nos valores do anexo

Digital – *Modelação Documentos*

T_{aM} - Temperatura do ar máxima de um dia característico, calculada com base nos valores do anexo

Digital – *Modelação Documentos*

3.4.2 Módulo fotovoltaico

Através das curvas de corrente e tensão é possível obter a curva característica de potência do módulo PV. O estudo inicia-se com 2.1- *características dos módulos* (ver anexo - *Modelação*) utilizados no dimensionamento do sistema. O quadro seguinte mostra as características retiradas a partir do manual do fabricante bem como as grandezas utilizadas para efeito de cálculos.

Tabela 9 – Resumo de grandezas e características modulo PV

Parâmetro	Valor	Unidade	Legenda
Isc	4,8	[A]	Corrente curto-circuito
Voc	44,2	[V]	Tensão circuito aberto
NOCT	47	[°C]	Temperatura de operação nominal da célula
Rs	5,00E-01	Ω [ohm]	Resistência série
Q	1,60218E-19	[C]	Carga do electrão
K	1,38E-23	[J/K]	Constante de Boltzman

Potencial térmico, V_T (V) - O potencial térmico de referência V_T é caracterizado pela expressão 3.9 na qual foi aplicado um factor de idealidade do díodo igual a 1,8 [CASTANER,SIVESTER,2002].

$$V_T = m \times k \times \frac{T_{celula}}{q} \quad (3.9)$$

m – Factor de idealidade do díodo

Temperatura da célula PV, T_{celula} (K) - Considerando as STC ²¹ é possível calcular a temperatura da célula PV , T_{celula} [CASTANER,SIVESTER,2002] através da expressão 3.10.

$$T_{celula} = \frac{(NOCT - 20)}{800} \times G_{sol} + T_{amb} \quad (3.10)$$

Corrente do módulo PV, I_{mod} (A) - A partir da expressão 3.11 [CASTANER,SIVESTER,2002] formulou-se uma nova expressão 3.12 tendo em conta o factor de ajuste “f”. Este valor foi ajustado para que a curva obtida através dos cálculos se aproxime o mais possível da apresentada pelo fabricante (T=298K). Na figura 53 observam-se diferentes curvas que variam com o aumento do factor de ajuste. Apresenta-se essa variação no intervalo de 1 a 100 .

$$I_{mod} = I_{sc} \times \left(1 - e^{\frac{V-V_{oc}}{m \times V_T}} \right) \quad (3.11)$$

$$I_{mod} = I_{sc} \times \left(1 - e^{\frac{V-V_{oc}}{m \times f \times V_T}} \right) \quad (3.12)$$

²¹

Ver pag.19

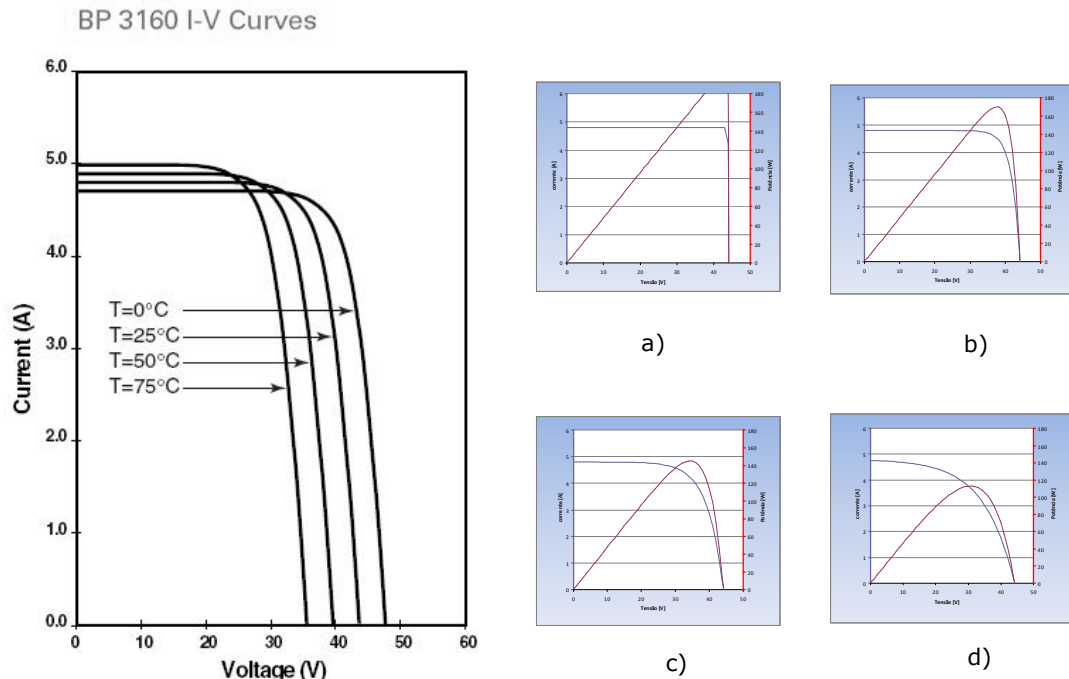


Fig.53 - Curvas PV do manual do fabricante e variação do factor de ajuste

a) $f=1$, b) $f=25$, c) $f=50$ e d) $f=100$

O factor de ajuste foi fixo em 34, para que a potência máxima atingida pelo módulo seja igual a 160W.

Potência do módulo PV, P (W) - A potência fornecida por cada módulo (expressão 3.13) determina-se multiplicando a variação da tensão pela corrente I_{mod} calculada em (3.12). Observa-se em 2.1 *Característica Módulo* (ver anexo – *Modelação*) a variação da potência em função da tensão e da corrente dos módulos PV.

$$P = V \times I_{\text{mod}} \quad (3.13)$$

3.4.3 Corrente fotovoltaica

Considerando os vários módulos em série e paralelo do painel obteve-se a sua corrente total através da expressão (3.14) sendo N_p o número de módulos em paralelo [MINDERICO, 1995] e a tensão V_{mod} em cada módulo PV num dado instante (3.15), a qual depende da tensão no banco de baterias (V_{bat}) e do número de módulos em série, N_s .

$$I_{PV} = N_p \times \frac{I_{scG}}{G_{sol}} \times G \times \left(1 - e^{\left(\frac{U_{\text{mod}} - V_{oc} + \left(\frac{I_{scG}}{G_{sol} I} \right) \times G \times R_s}{V_T} \right)} \right) \quad (3.14)$$

Onde a tensão no modulo V_{mod} é dada pela seguinte expressão,

$$V_{\text{mod}} = \frac{V_{\text{bat}}}{N_s} \quad (3.15)$$

3.4.4 Banco de baterias

De acordo com os valores da capacidade nominal, tensão nominal e número de elementos dimensionados no capítulo anterior incluem-se na tabela seguinte os parâmetros que serviram para efectuar a modelação do banco de baterias.

Tabela 10 – Resumo das grandezas e características do banco de baterias

Parâmetro	Valor	Unidade	Legenda
C	550	[Ah]	Capacidade nominal
R	0,0015	[ohm]	Resistência interna da bateria
\mathcal{E}_0	1,75	[V]	Tensão de equilíbrio por elemento
A	0,5	[V]	Coeficiente da relação linear entre a força electromotriz da bateria e o seu estado de carga
N	24		Numero de elementos em série
Un	48	[V]	Tensão nominal da bateria

Corrente disponível na bateria, I_{bat} (A)

A corrente disponível na bateria num dado instante I_{bat} [GSES , 2008] é dada através da expressão 3.16. Nela são considerados os estados impostos pelo controlador de carga aplicados aos módulos PV e à carga. O controlador será abordado de forma mais detalhada em 3.6.7 *Regulador de Carga*.

$$I_{bat} = I_{pv} \times SC_{pv} - I_{carga} \times SC_{carga} \quad (3.16)$$

Sendo:

SC_{pv} - Estado de controlo dos módulos PV. Pode assumir o valor lógico “0” ou “1”. (ver cap. 3.6.6 – *Controlador*)

SC_{carga} - Estado de controlo da carga. Pode assumir o valor lógico “0” ou “1” (ver cap. 3.6.6 – *Controlador*)

I_{pv} - Corrente nos painéis PV (expressão 3.14)

I_{carga} - Corrente na carga afectada pelo inversor (expressão 3.21)

Tensão da bateria, V_{bat} [V]

Através da expressão 3.18 [NEGRO, 1993] é possível calcular a tensão disponível no banco de baterias, V_{banco} , num dado instante. Para isso basta multiplicar a tensão disponível numa bateria V_{bat} pelo número de elementos no banco N e onde o SOC é o estado de carga da bateria a seguir descrito

$$V_{bat} = \varepsilon_0 + a \times SOC + R \times I_{bat} \quad (3.17)$$

$$V_{banco} = V_{bat} \times N \quad (3.18)$$

Estado de carga da bateria num dado instante, SOC

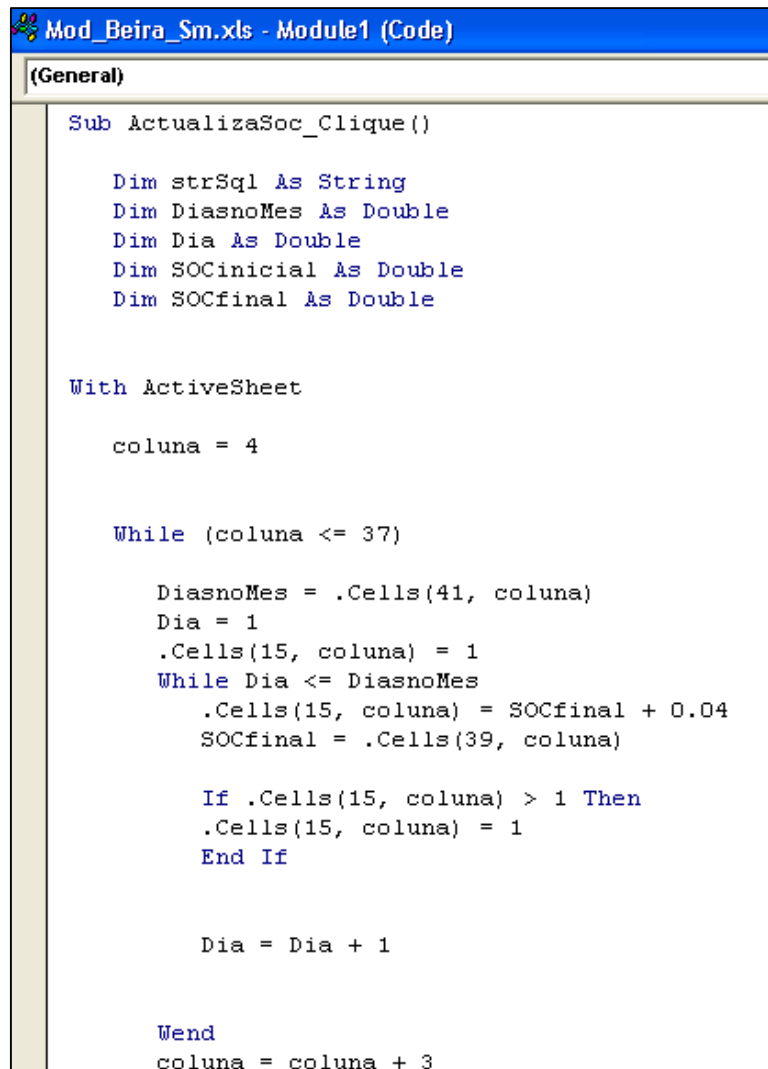
A diferença entre o estado de carga num dado instante SOC e o estado de carga no instante anterior $SOC_{inicial}$ é dado pelo algoritmo a seguir descrito. Esta é, no entanto, uma simplificação do modelo de carga da bateria, uma vez que o sistema é na realidade não linear e foi simplificado com uma aproximação linear. Resulta assim a expressão 3.20 que traduz a simplificação do SOC da bateria num dado instante.

$$SOC - SOC_{inicial} = \frac{V_{bat} \times I_{bat} - R \times I_{bat}^2}{V_{bat} \times C} \quad (3.19)$$

$$SOC = SOC_{inicial} + \frac{V_{bat} \times I_{bat} - R \times I_{bat}^2}{V_{bat} \times C} \quad (3.20)$$

Algoritmo *SOCinicial*

A modelação do sistema é feita tendo em conta um dia característico de cada mês, desta forma é desejável que, a aproximação ao *SOCinicial* em cada mês seja influenciada pelos dias do mês anterior. Assim, para caracterizar esse estado implementou-se uma Macro em Excel baseada num algoritmo de aproximação (figura 54) que permite actualizar em qualquer momento o estado do *SOCinicial* em cada mês e ajustar o sistema caso sejam alterados os parâmetros das baterias.



```
Mod_Beira_Sm.xls - Module1 (Code)
(General)

Sub ActualizaSoc_Clique()

    Dim strSql As String
    Dim DiasnoMes As Double
    Dim Dia As Double
    Dim SOCinicial As Double
    Dim SOCfinal As Double

    With ActiveSheet

        coluna = 4

        While (coluna <= 37)

            DiasnoMes = .Cells(41, coluna)
            Dia = 1
            .Cells(15, coluna) = 1
            While Dia <= DiasnoMes
                .Cells(15, coluna) = SOCfinal + 0.04
                SOCfinal = .Cells(39, coluna)

                If .Cells(15, coluna) > 1 Then
                    .Cells(15, coluna) = 1
                End If

                Dia = Dia + 1
            Wend

            coluna = coluna + 3
        End While
    End With
End Sub
```

Fig.54 - Algoritmo implementado na Macro “Actualizar SOC”

3.4.5 Cargas

De acordo com as cargas apresentadas no ponto 3.5.2 *Previsão do consumo energético da unidade sanitária*, efectuou-se a distribuição do funcionamento dos equipamentos pelas horas de um dia de actividade na unidade sanitária, durante a semana (figura 55) e num dia de inactividade durante o fim-de-semana (figura 56). Registaram-se assim os seguintes perfis de carga representativos da potência consumida pelos equipamentos e luminárias ao longo das 24 horas (ver anexo – *Modelação*).

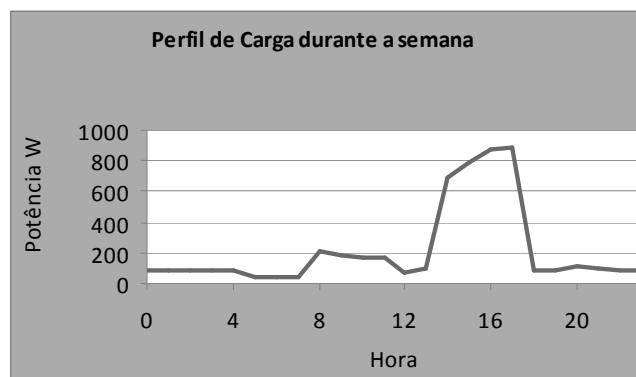


Fig.55- Perfil de carga da unidade sanitária durante um dia normal de funcionamento

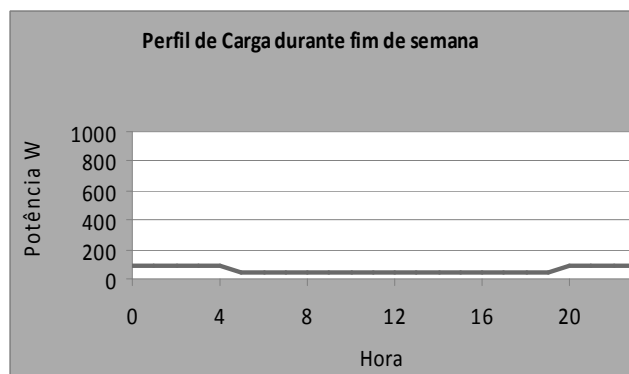


Fig.56 - Perfil de carga da unidade sanitária durante o fim de semana, dia de inactividade

Os exemplos que se seguem permitem compreender os vários critérios aplicados para a distribuição das potências dos equipamentos e luminárias ao longo das 23 horas de funcionamento:

- **Exemplo 1:** O frigorífico tem uma potência de 75 W e funciona não continuamente durante 8 horas. Em termos de estimativa aproximou-se o seu funcionamento a uma distribuição de 25 W em cada hora do dia. Este critério também foi utilizado para a distribuição da potência do desumidificador.
- **Exemplo 2:** Os pantofes das salas de atendimento S1, S2 e S3, têm cada um 100 W de potência o que perfaz um total de 300 W. Estimou-se para o seu funcionamento 2 horas diárias. Uma vez que este funcionamento é também ele feito de uma forma não continua e está afectado pelas horas de atendimento da unidade (8 horas) a sua distribuição é feita ao longo desse período. Assim estima-se que os três pantofes consomem 75 Wh. Este critério foi também aplicado para a distribuição da potência das luminárias nos wc's e armazém.
- **Exemplo 3:** A máquina de gelo tem uma potência de 200 W estimou-se que o seu funcionamento era apenas de 15 minutos feitos de uma forma contínua durante um dia. De acordo com este critério a sua distribuição é de 5 Wh.

Conhecida a potência imposta pela carga $P_{c\ arg\ a}$, é possível, multiplicado pela tensão do sistema PV obter a corrente da carga.

$$I_{c\ arg\ a} = \frac{P_{c\ arg\ a}}{V_{sistema}} \quad (3.21)$$

3.4.6 Inversor

O inversor (ver anexo – *Modelação*) em termos de influência do sistema representa um acréscimo da corrente da carga devido ao seu rendimento e pode ser traduzido pela expressão seguinte:

$$I_o = \frac{I_{c \arg a}}{\eta_{inv}} \quad (3.22)$$

Observa-se na figura 57 o gráfico típico do rendimento de um inversor com características idênticas ao dimensionado, ou seja, potência nominal 3 kW e rendimento aproximado de 93 %. De acordo com o gráfico para potências inferiores a 0,5 kW verifica-se que o rendimento atinge valores inferiores a 93 % e decresce de uma forma quase exponencial. Desta forma seria grosseiro considerar o mesmo rendimento para todas as potências impostas pelas cargas pelo que é necessário contabilizar as perdas do inversor.

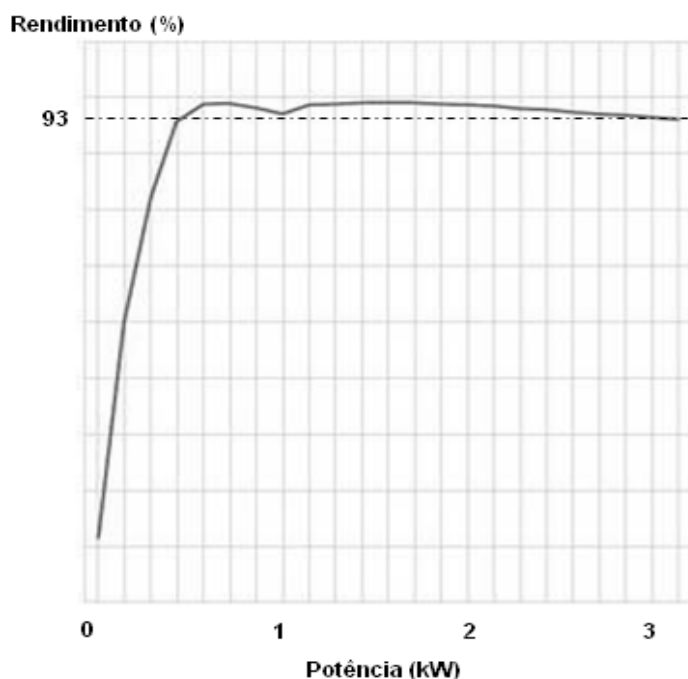


Fig.57 - Curva característica do rendimento do inversor em função da potência

O rendimento do inversor é dado pela seguinte expressão:

$$\eta_{inv} = \frac{P}{P + p_{iinv}} \quad (3.23)$$

Onde P representa a potência produzida pelo inversor (expressão 3.24) e p_{iinv} representam as perdas no inversor que podem ser estimadas por aproximação da expressão 3.25 [J.Shmid,2008].

$$P = I_{c\ arg\ a} \times V_{inv} \quad (3.24)$$

$I_{c\ arg\ a}$ - Corrente na carga, resultante da expressão 3.21

V_{inv} - Tensão de entrada do inversor

$$p_{inv} = P_0 + \zeta P^2 \quad (3.25)$$

As constantes ζ e P_0 podem ser calculadas a partir do rendimento do inversor à potência nominal P_n e do rendimento a uma outra potência P_x usualmente é referida pelo fabricante a 10% da potência nominal.

$$\zeta = \frac{1}{P_n^2 - P_x^2} \left(\frac{P_n}{\eta_{inv}} - \frac{P_x}{\eta_{inv}} \right) - \frac{1}{P_n - P_x} \quad (3.26)$$

$$P_0 = P_n \left(\frac{1}{\eta_{inv}} - 1 - \zeta P_n \right) \quad (3.27)$$

3.4.7 Regulador de carga

O regulador utilizado (ver anexo – *Modelação*) tem a função de proteger as baterias. Considerando que cada elemento do bando de baterias tem 2 V o regulador actua de duas formas. A primeira prevenindo descargas profundas desligando o consumo quando a tensão for inferior a 1.9 V (5% da tensão de cada elemento). A segunda protegendo contra sobrecargas desligando os módulos quando a tensão em cada elemento ultrapassar os 2,3 V (15 % da tensão de cada elemento).

Através destes parâmetros implementou-se um controlador com os parâmetros SC_{pv} e SC_{carga} aos quais são atribuídos valores lógicos ‘0’ ou ‘1’ de acordo com o seu estado de funcionamento (desligar ou ligar respectivamente). As condições impostas são as seguintes de acordo com o estado de carga do banco de baterias:

- **Limiar de desligar a carga** $\rightarrow V_{bat} < N^{\circ} \text{ Elementos} \times 1.9 \text{ V}$
- **Limiar de desligar o módulo** $\rightarrow V_{bat} > N^{\circ} \text{ Elementos} \times 2.3 \text{ V}$

Apresenta-se na figura 58 um esquema lógico do controlador (SC) modelado:

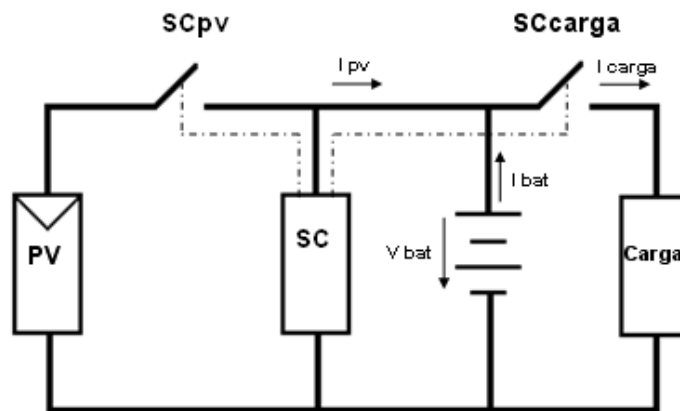


Fig.58 - Esquema do regulador série de cargas (Controlador)

3.4.8 Análise de Resultados

Para além da *Simulação* hora a hora do sistema foi introduzida uma folha de cálculo, *Análise de Resultados*, que permite resumir o comportamento do sistema ao longo dos doze meses do ano. Observa-se na tabela ilustrada na figura 59 (ver anexo – *Modelação*) as grandezas utilizadas de acordo com os meses do ano e os valores percentuais de falhas na carga e cortes dos módulos PV registados anualmente e que correspondem, respectivamente, ao número de horas em que o sistema não teve corrente suficiente para alimentar a carga (“falha da carga”) e o número de horas em que não houve necessidade de produzir corrente para carregar as baterias (“corte do PV”).

Mês	Energia diária [kWh/m ²]	Temperatura MÉDIA diária [°C]	P max [W] Módulos	I _{bat} max [A]	Nº horas de Falhas da Carga	Nº horas de Corte do PV
Janeiro	6,40	28,07	2238,39	35,79	0	62
Fevereiro	5,59	28,21	2016,85	33,66	0	28
Março	4,85	26,83	1829,58	30,34	0	0
Abril	3,75	26,36	1473,06	23,98	0	0
Maió	2,72	23,51	1092,67	17,35	0	0
Junho	2,16	23,25	769,74	13,53	0	0
Julho	2,44	20,30	910,89	15,51	0	0
Agosto	3,25	23,37	1288,14	20,78	0	0
Setembro	4,41	22,92	1696,63	27,97	0	0
Outubro	5,50	24,76	2018,69	33,70	0	31
Novembro	6,21	26,00	2190,98	34,96	0	30
Dezembro	6,48	26,72	2250,96	36,02	0	62

ANO	Percentagem de falhas da carga	0,00%
	Percentagem de corte dos módulos PV	2,43%

Fig.59 - Análise de resultados

Observa-se na análise de resultados que os meses onde se registaram maiores potências produzidas pelos módulos PV e maiores correntes disponíveis no banco de baterias são os meses em que a energia disponível é maior embora a temperatura seja também ela mais elevada nesses meses. Janeiro e Dezembro foram os meses mais significativos. Observa-se ainda que se registaram 0% de falhas na carga e 2.43% de cortes nos módulos PV. Janeiro e Dezembro foram também aqui os meses que apresentaram maiores índices, cerca de 62 cortes anuais, respectivamente.

Com base no sistema dimensionado no capítulo anterior conclui-se com os resultados obtidos nesta modelação que o sistema é viável do ponto de vista da sua implementação porque garante, pelos 0% de falhas encontradas, que a corrente produzida pelo sistema PV é suficiente para alimentar as cargas. Conclui-se ainda, pelos 2,43% de cortes, que existem períodos em que os módulos não são utilizados, traduzindo-se por isso num desaproveitamento do recurso solar disponível e consequente num índice, ainda que mínimo, de sobredimensionamento do sistema PV.

4 ANTEPROJECTO DA INSTALAÇÃO ELÉCTRICA

Elabora-se neste capítulo um anteprojecto da instalação eléctrica que irá servir a unidade sanitária. Dele fazem parte: “**Memória Descritiva e Justificativa**” com os elementos e esclarecimentos necessários para caracterizar a natureza, importância, função e características da instalação; “**Mapa de Medições**” onde são descritas as quantidades em função dos equipamentos instalados; “**Peças Desenhadas**” onde são apresentadas as plantas com o traçado dos circuitos instalados.

4.1 Memória Descritiva e Justificativa

4.1.1 Objectivos

Pretende-se com esta memória descritiva especificar os elementos considerados que devem satisfazer o estabelecimento e a exploração das instalações colectivas e entradas, alimentadas a partir do sistema solar fotovoltaico isolado, de uma unidade sanitária a ser reabilitada em Buzi (Sofala).

4.1.2 Legislação a considerar

Durante o projecto deverá ser considerado a legislação em vigor de acordo com as Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão (R.T.I.E.B.T.).

4.1.3 Arquitectura

O edifício a que se destina o projecto eléctrico é uma unidade sanitária constituída por apenas um piso, com a seguinte distribuição:

- Sala de atendimento de pediatria (S1)
- Sala de atendimento para grávidas (S2)
- Sala de atendimento geral (S3)
- Sala de tratamentos (ST)
- Zonas comuns onde se encontram os corredores de acesso às salas, à zona de espera e zona de recepção
- Armazém (A)
- Arquivo
- 2 WC's de utentes
- WC de pediatria
- WC de pessoal

4.1.4 Categoria da instalação

Como o edifício em questão é um estabelecimento do tipo hospitalar (recebendo público) com lotação inferior a 100 pessoas, a presente instalação será de categoria tipo B.

4.1.5 Classificação dos locais

No projecto e na execução de uma instalação eléctrica devem ser consideradas a codificação e a classificação das influências externas indicadas nas secções 320.2 a 323.2 das R.T.I.E.B.T. Cada condição de influência externa é designada por um código constituído sempre por um grupo de duas letras maiúsculas e de um algarismo, colocado pela ordem seguinte: A primeira letra caracteriza a categoria geral das influências externas; a segunda

letra caracteriza a natureza da influência externa; o algarismo caracteriza a classe de cada uma das influências externas.²²

4.1.6 Alimentação e distribuição de energia

O abastecimento normal de energia eléctrica será em baixa tensão (C.A) à tensão de 230 V, frequência 50 HZ, a partir de um **sistema solar fotovoltaico** de produção energética local e isolado da rede.

4.1.7 Condutores e ligadores

Os **condutores** a utilizar serão do tipo H07VV-U para secções inferiores a 10mm² e H07VV-R para as restantes secções. A secção e o tipo de condutor serão indicados nas Peças Desenhadas. Quanto aos **ligadores** deverão garantir uma continuidade eléctrica durável, apresentando uma resistência mecânica adequada, sem queda de tensão e aquecimentos exagerados.

4.1.8 Tubagens

As instalações eléctricas da unidade sanitária serão realizadas por canalizações do tipo saliente e constituídas por condutores e cabos apropriados a cada instalação, protegidos por tubos do tipo VD ou equivalente normalizados, fixos por braçadeiras.

²² É conveniente que esta avaliação seja feita no local. Por essa razão não são apresentadas neste anteprojecto as classificações dos locais.

4.1.9 Aparelhagem eléctrica

A aparelhagem será do tipo saliente e deverá ter um IP (índice de protecção) de acordo com o local onde será instalada. A **aparelhagem de manobra** a utilizar será de calibre de 10 ou de 16 A - 250 V. No caso de ser **aparelhagem de comando** como interruptores, comutadores de escada entre outros, deverá ter um poder de corte de 10 A – 250 V com as partes acessíveis e espelhos em material isolante. Os invólucros da aparelhagem de comando serão de instalação saliente nas paredes, sendo a sua ligação mecânica realizada através de tubo cujo tipo e diâmetro será indicado nas peças desenhado.

4.1.10 Iluminação

A queda de tensão admissível desde a origem da instalação de utilização até ao aparelho de utilização electricamente mais afastados, supostos ligados todos os aparelhos de utilização que possam funcionar simultaneamente, não deverá ser superior a 3% da tensão nominal da instalação para circuitos que não sejam de iluminação. Todos os dispositivos de comando de iluminação devem de ser instalados a uma altura de 1,2 m em relação ao solo.

Circuito de iluminação -- Todo o circuito de iluminação deverá ser realizado em condutor de secção não inferior a 1,5 mm², o diâmetro do tubo de protecção que deverá ser de 16 mm². Para o comando dos circuitos de iluminação deverão ser utilizados de calibre 10 A, para 250 V e serem fabricados em termoplástico sem partes metálicas acessíveis, e poder de corte não inferior a 3 kA, de forma a proteger a canalização e a aparelhagem existente. Os mesmos circuitos não deverão também exceder os oito pontos de luz. Os interruptores e comutadores deverão ser adequados para a tensão estipulada de 250 V/50 Hz e corrente estipulada de 10 A, ser de montagem embebida, com as partes acessíveis e os espelhos isolantes e ser instalados a uma altura de cerca de 1,20 m do pavimento. A aparelhagem eléctrica a utilizar nestes circuitos deverá igualmente cumprir os índices de protecção do local adequado aos factores de influências externas.

Iluminação de espaços colectivos - A iluminação de espaços colectivos consiste na iluminação das zonas de acesso à zona de espera e zona de recepção. Esta é comandada a partir do quadro eléctrico.

4.1.11 Tomadas

A queda de tensão admissível desde a origem da instalação de utilização até ao aparelho de utilização electricamente mais afastados, supostos ligados todos os aparelhos de utilização que possam funcionar simultaneamente, não deverá ser superior a 5 % da tensão nominal da instalação para circuitos que não sejam de iluminação. O sistema a usar terá de obedecer aos IP (índice de protecção) impostos aos locais da instalação. Nos circuitos de tomadas todos os condutores utilizados serão de secção não inferior a 2.5 mm². Todas as tomadas a instalar serão monofásicas do tipo “Schuko” de 250 V, 50 HZ e 16 A, com partes acessíveis e espelhos em material isolante e ligação à terra. A localização destas tomadas encontra-se descrita nas peças desenhadas, podendo a distribuição das mesmas ser alterada sem que afecte as condições de segurança descritas ao longo desta memória descritiva. Nos circuitos de tomadas, deverão ainda ser utilizadas caixas de fundo duplo para permitir a derivação para outras tomadas, esta medida não se aplica as tomadas dos circuitos específicos pois, serão ligadas directamente ao quadro. Todas as tomadas a instalar terão alvéolos protegidos.

Tomadas de uso geral - A instalação prevê circuitos de tomadas de uso geral para a alimentação de equipamentos de baixa potência. Cada circuito final não deve, em regra, alimentar mais do que oito pontos de utilização (Secção 801.5.3 do R.T.I.E.B.T.). Para efeitos da contagem do número de pontos de utilização por circuito, duas (ou mais) tomadas de 16 A agrupadas num mesmo aparelho, são consideradas como um único ponto de utilização. As canalizações eléctricas para os circuitos de alimentação do fogão eléctrico serão de secções superiores, 4 mm², respectivamente. Será utilizado tubo diâmetro de 20 mm para secções de

2,5 mm².

Tomadas de uso específico - Estas tomadas destinam-se a fazer a alimentação de equipamentos que, devido a razões médicas, só pode haver corte se houver anomalia nesse equipamento não dependendo assim do restante funcionamento da instalação. Toda a canalização eléctrica destes circuitos específicos segue as recomendações das tomadas denominadas anteriormente como tomadas de uso geral, seguindo todos as secções do R.T.I.E.B.T..

4.1.12 Quadro eléctrico

As características técnicas devem ser de acordo com o local onde é instalado possuindo dimensões tais que possibilitem a correcta montagem da aparelhagem a instalar a ele inerente. Todos os circuitos de saída do quadro, serão identificados por etiquetas. Por ser de montagem semi-embebida o seu índice de protecção mínima deverá ser IP20-IK07. O quadro deverá ainda ser dotado de um barramento de protecção, ao qual, serão ligados os condutores de protecção.

4.1.13 Protecção de pessoas

Protecção contra contactos directos - A protecção contra contactos directos será garantida através do bom isolamento das partes activas, com a colocação de parafusos de fixação na aparelhagem de manobra, com o respeito dos índices de protecção dos materiais aplicados conforme a classificação dos locais.

Protecção contra contactos indirectos - A protecção contra contactos indirectos será assegurada pela ligação das massas à terra e o emprego de aparelhos de corte automático associados, sendo estes, interruptores diferenciais sensíveis à corrente diferencial residual de sensibilidade adequada ao valor da resistência de terra de protecção encontrado.

Ligação à terra - O eléctrodo de terra será realizado ao nível das fundações a uma profundidade mínima de 0,80 metros em relação à superfície, com condutor de cobre nú de 35 mm² de secção. Serão ainda implantados diversos eléctrodos de terra do tipo vareta de aço revestidas a cobre com 2 metros de comprimento ligados ao condutor nu de 35 mm², tantos quanto os necessários para que a resistência de terra seja o mais baixo possível e nunca superior a 100 Ω . Os eléctrodos devem ser colocados em locais tão húmidos quanto possível, de preferencialmente em zonas vegetais, fora da influência de agentes de corrosão ou envelhecimento conhecidos ou previsíveis. Devem ainda ser colocados fora dos locais de presença, passagem ou permanência habitual de pessoas e/ou animais. Na impossibilidade de se encontrar um valor dentro do limite apresentado, dever-se-á utilizar um ID de sensibilidade adequado ao valor encontrados de acordo com a seguinte tabela:

Tabela 11 – Resistência de terra (RT) de acordo com a sensibilidade de corrente do diferencial (ID).

Fonte: (Tabelas de apoio ao Projecto CERTIEL)

RT (Ω)	I_{ΔN} do ID
Até 100 Ω	500 mA
De 100 a 166,6 Ω	300 mA
De 166,6 a 500 Ω	100 mA
De 500 a 1666,6 Ω	30 mA

Ligador amovível - Nos condutores de terra, deve ser previsto um dispositivo instalado em local acessível e que permita a medição do valor da resistência do eléctrodo de terra das massas, podendo esse dispositivo estar associado ao terminal principal de terra. Este dispositivo deve ser, apenas, desmontável por meio de ferramenta e deve ser mecanicamente seguro e garantir a continuidade eléctrica das ligações à terra. Nota: Para interligação entre o ligador amovível e o eléctrodo de terra, será utilizado um condutor de terra do tipo H07VV-R 1G35 mm²

4.1.14 Cálculo da Potência instalada

Para o cálculo da potência instalada na unidade sanitária, é necessário ter em conta a potência do inversor uma vez que se trata de um projecto de alimentação autónoma (independente da rede) em que o inversor é o elemento que restringe a potência máxima do sistema. Outra particularidade é que as cargas (conjunto dos equipamentos e luminárias anteriormente apresentadas) são todas alimentadas por corrente alternada.

$$P_{inversor} = 3000W$$

Para um factor de potência $\cos \varphi = 0,8$ tem-se:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{3000}{0,8} = 3750VA$$

Contando com uma margem de crescimento de 15% da instalação resulta:

$$S = 4312VA$$

Tendo também em conta um factor de simultaneidade $\alpha = 0,4$, regulamentado para instalações de uso hospitalar com dimensões inferiores a 2500 m² (R.T.I.E.B.T) temos finalmente a potência a instalar

$$S_{inst} = S \times \alpha = 4312,5 \times 0,4 = 1725VA$$

Calculando a corrente de serviço considerando a instalação de corrente alternada monofásica:

$$S = U \times I \Leftrightarrow I_B = \frac{S}{U} = \frac{1725}{230} = 7,5A$$

Resumo:

Corrente de serviço: 7,5 A

Secção do condutor fase: 10 mm² (valor de acordo com a corrente de serviço e as R.T.I.E.B.T)

Secção normalizada dos condutores neutro e de protecção: 10 mm²

Secção e tipo de condutor instalado para alimentação do quadro geral: XV 3G10

Interruptor Geral, In : 40 A (valor de acordo com a corrente de serviço e as R.T.I.E.B.T)

Cálculo da **queda de tensão** considerando o comprimento do cabo com alma de cobre $l = 20$ m e que $\rho = 0,0225$:

$$u = \frac{\rho \times l}{s} \times I_B = 0,26V$$

$$\Delta u\% = 100 \times \frac{u}{U_0} = 0,11\%$$

Como a queda de tensão máxima admitida regulamentarmente é de 1%, a queda de tensão calculada é nitidamente inferior a esse valor.

4.2 Mapa de Medições

O “Mapa de Medições”, também conhecido como “Mapa de Quantidades”, corresponde à listagem de material eléctrico a fornecer e a instalar na unidade sanitária (ver anexo *Digital – Anteprojecto*). As quantidades são apresentadas tendo em conta a instalação eléctrica proposta e as “Peças Desenhadas” respeitando sempre as condições da “Memória Descritiva”.

4.3 Peças Desenhadas

- **Arquitectura “Arq_CAD01”** – Traçado da arquitectura da unidade sanitária (ver anexo – *Anteprojecto*).
- **Iluminação “I_CAD02”** – Traçado dos circuitos de iluminação das salas e de iluminação de espaços colectivos incluindo aparelhagem (ver anexo – *Anteprojecto*).
- **Tomadas “T_CAD03”** - Traçado dos circuitos de tomadas de uso geral e de uso específico (ver anexo – *Anteprojecto*).
- **Quadro Eléctrico “QE_CAD04”** – Esquema do quadro eléctrico da unidade sanitária(ver anexo – *Anteprojecto*).

5 SÍNTESE CONCLUSIVA

África possui avultadas quantidades de recursos naturais mas regista os maiores índices de pobreza e precariedade do mundo. Indiciados a esta situação, estão muitos dos problemas atribuídos aos sistemas políticos e aos demasiados conflitos armados vividos ao longo de anos. “Estaremos perante um caso de falta de iluminação do sujeito político? [Prof. Carlos Amaral Dias]”. No presente, a situação está a reverter-se com um novo optimismo: o mundo vê em África uma nova esperança pelo cessar de muitas guerras e pela actual recessão económica atravessada pela Europa, Japão e Estados Unidos. Muitos investidores estão a aplicar os seus capitais em países africanos e os sistemas políticos têm vindo a responder com cooperação. O crescimento económico já é uma realidade em muitos países africanos mas o drama comum a todos os países subdesenvolvidos é o de 90% da população viver sacrificada e por vezes esquecida com o bem-estar dos outros 10%, o que também sucede por não existir sensibilidade por parte dos investidores nem políticas que controlem o crescimento desenfreado e monopolizado (exemplo de Luanda, em Angola). No contexto dessas aplicações, a electrificação rural surge como uma actividade absolutamente marginal dentro do sistema eléctrico dos países africanos. Esta situação verifica-se porque a oferta de energia eléctrica para áreas rurais e isoladas é extremamente baixa quando comparadas com áreas urbanas, seja pelo alto custo de manutenção do sistema, seja pelo baixo consumo verificado pelos usuários que leva por vezes à complexidade de atendimento e cobrança de tarifas; é esta a grande dificuldade. Por outro lado, a ampliação da rede eléctrica até às zonas rurais só é obtida através de programas igualmente subsidiados que nem sempre justificam a sua inclusão devido ao seu custo. Os sistemas solares PV surgem como assim como alternativa à produção de energia. Em zonas rurais isoladas e sobretudo em países subdesenvolvidos as aplicações desta tecnologia pode ter um peso significativo nos índices de precariedade e na melhoria da saúde pública das populações desses países. A sua aplicação já é uma realidade que precisa de ser urgentemente difundida.

Moçambique foi o país escolhido e o ponto de partida deste estudo de caso, onde se pretendia sensibilizar para a importância da aplicação de sistemas solares fotovoltaicos na electrificação de povoados remotos em África. Porém, estas aplicações poderiam ter sido estendidas a outros países subdesenvolvidos em África, na América do Sul ou mesmo na

Índia (existem estudos neste âmbito feitos pela EPIA denominados como as TASK 8).

Efectuando um resumo geral deste trabalho, no que se refere aos conteúdos de projecto, aplicou-se a ferramenta de cálculo do RETScreen, o que do ponto de vista prático permitiu realizar rapidamente o dimensionamento do sistema. No entanto torna-se importante referir que dada a constante evolução do mercado destes sistemas o dimensionamento pode ser, a qualquer momento, optimizado, se reduzir, por exemplo, o número de módulos PV por módulos de potências superiores. Isso pode significar uma redução de custos e uma evidente contribuição para o aumento dos índices de aceitação de projectos deste tipo. A principal dificuldade encontrada neste ponto foi a recolha da amostra para o cálculo da potência dos equipamentos. As unidades em Sofala (figura 60) não possuem energia eléctrica no local e não existe uma estimativa dos equipamentos médicos que podem vir a equipar a unidade nem o seu tempo de utilização (para completar o cálculo da energia). Optou-se por gerir essa expectativa em função das zonas em que a unidade é dividida e a partir daí avançar com um valor de horas de utilização de acordo com as solicitações habituais dos serviços da unidade.

A modelação do sistema face ao dimensionamento constituiu, do ponto de vista académico, um desafio maior. Foi possível observar a variação das várias grandezas do sistema fotovoltaico autónomo através de ferramenta informática usando modelos matemáticos de outros autores. É importante salientar que não houve uma preocupação de elevar o nível de interactividade da folha de cálculo produzida, uma vez, que o programa escolhido foi o Excel e o seu potencial concentra-se no detalhe dos valores apresentados sob a forma de tabela. Retirou-se por isso partido da simplicidade do programa e registaram-se resultados satisfatórios e coerentes com os valores obtidos no dimensionamento.

Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia

- Electrificação de serviços primários em povoados remotos Africanos recorrendo a sistemas solares fotovoltaicos –



Fig.60 – US (Sofala), Foto: Dr.^a Lurdes Maboana (Outubro 2006)

6 BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, PEREZ, DE LA CASA (2006), Cálculo de energia gerada por sistemas fotovoltaicos conectado a real aplicacion dicente. VII Congreso de Tecual Aplicadas – Madrid.

CASTANER,SIVESTER (2002) L. Castaner & S. Silvester, Modeling of photovoltaic systemsusing Pspice .

CASTRO, Rui M.G, (2004) Energias Renováveis e Produção Descentralizada : Introdução à Energia Fotovoltaica.

CERTIEL, (2008), Hilário Dias Nogueira, Josué Lima Moraes, Tabelas Técnicas das Instalações Eléctricas.

CERTIEL, (2007), *Josué Lima Moraes, José Marinho Gomes Pereira*, Guia Técnico das Instalações Eléctricas.

CERTIEL, (2006) DGGE, RTIEBT – Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão, 1ª Edição Anotada Volumes I, II e III.

FERNANDES, Joana F. (2008) Center for Innovation, Technology and Policy (IN) em entrevista ao Portal das Energias Renováveis, Setembro 2008.

FUNAE,2008, Fundo Nacional de Energia www.funae.co.mz, consultado a 18 de Setembro de 2008.

HARTLEY, Jean F. Case studies in organizational research. In: CASSELL, Catherine & SYMON, Gillian (Ed.). *Qualitative methods in organizational research: a practical guide*. London: Sage, 1994.

IMES, Master on Energy and Environment (2007) Módulo 2.3 – Renewable Energy Technology: photovoltaic systems, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

JOYCE, A. (2005) Sistemas Fotovoltaicos, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, IP, Departamento de Energias Renováveis.

J.SHMID (2008) Multilevel *inverter* topologies for stand-alone *PV* systems.

GREENPRO, IST (2004) Energia fotovoltaica : Manual sobre tecnologias, projecto e instalação.

GSES (German Solar Energy Society) , Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers, 2008.

MINDERICO, M (1995) Modelos de sistemas fotovoltaicos para transito de energia – Tese de mestrado no IST.

NEGRO. E. (1993) , PC simulation of PV systems, ISES Solar WorldConf., Budapest.

RETScreen International, 2004, Photovoltaic Project Analysis Chapter, Clean Energy Support Center, Minister of Natural Resources Canada. www.etscreen.net .

RIGOLLIER, BOUER (2000), the clear sky model of the ESRA - european solar radiation atlas - with respect to the heliosat method, 68, n°1, pp. 33-48 (20 ref.).

SPES , Sociedade Portuguesa de Energia Solar, <http://www.spes.pt> .

TRAUTH (2000), Eileen M. & O'CONNOR, Barbara. *A study of the interaction between information technology and society: an illustration of combined qualitative research methods*. [online], maio 2000. [<http://www.cba.neu.edu/~etrauth/works/ifip5.txt>].

7 ANEXOS

Fazem parte deste trabalho os anexos:

- Modelação – onde é apresentada a ferramenta informática desenvolvida para a modelação do sistema.
- Anteprojecto – onde são incluídas as peças desenhadas do anteprojecto da unidade sanitária.
- Digital – onde foram incluídos os anexos em formato digital que estão no “compact-disc” anexado no presente trabalho. A Tabela 12 indica os seus conteúdos.

Tabela 12 - Conteúdo dos Anexos Formato Digital

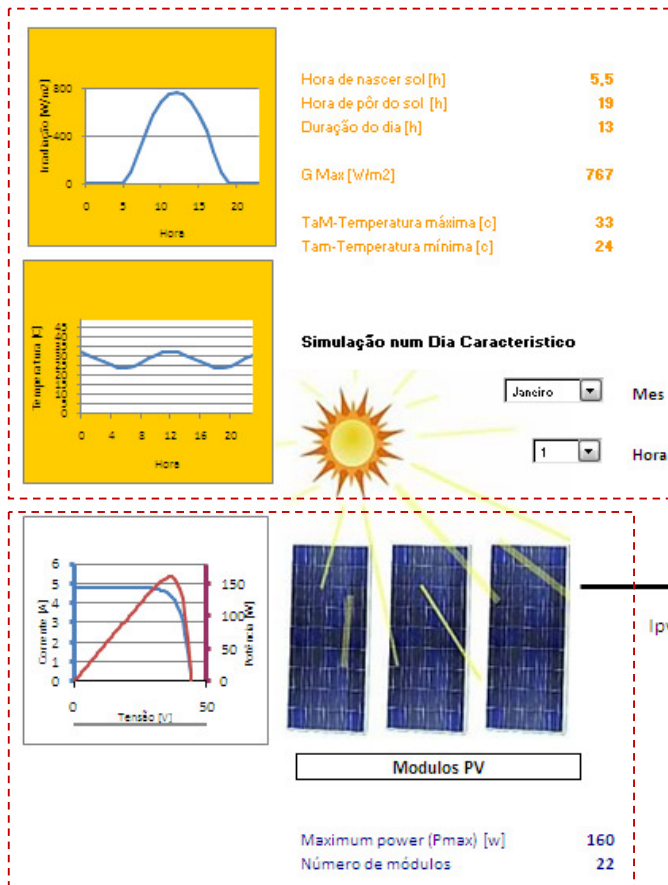
Anexo	Descrição
Anteprojecto	<p>“Mapa de Medições” - Mapa de medições</p> <p>“Arq_CAD01” – Traçado da arquitectura da unidade sanitária</p> <p>“I_CAD02” – Traçado dos circuitos de iluminação</p> <p>“T_CAD03” - Traçado dos circuitos de tomadas de uso geral e de uso específico</p> <p>“QE_CAD04” – Esquema do quadro eléctrico da unidade sanitária</p>
Dimensionamento	<p>Aplicação:</p> <p>“Dim_Buzi” calculo no RETScreen v3.2</p> <p>Documentação:</p> <p>BP3160 – Informação do fabricante, módulo BP3160</p> <p>Latitude Longitude – Coordenadas das várias províncias de Moçambique</p> <p>Buzi – Informações várias de Buzi retiradas do portal governamental de Moçambique</p>
Modelação	<p>Aplicação:</p> <p>Mod_Beira_Sim</p> <p>Documentação:</p> <p>INAM – Registos de temperaturas máximas e mínimas na cidade da Beira (Moçambique)</p>

ANEXO

Modelação

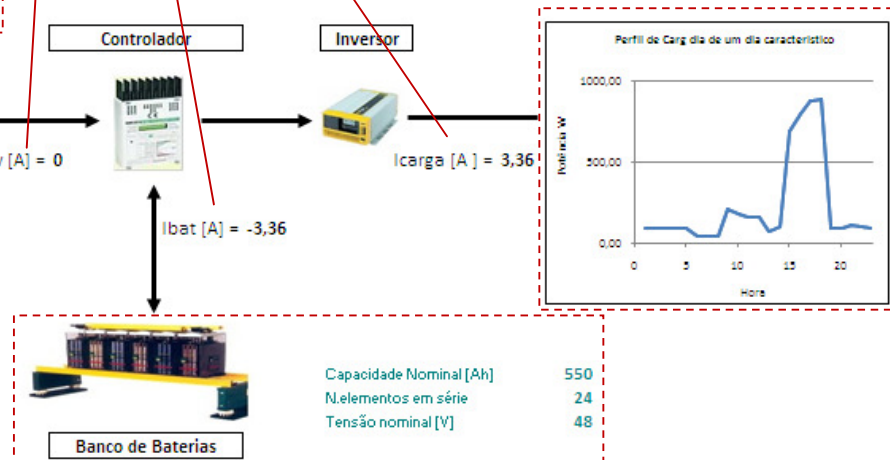
Simulação

Meteorologia prevendo os vários parâmetros



Resultado da simulação de acordo com o dia característico:

- 1) Corrente fornecida pelos módulos
- 2) Corrente do banco de baterias
- 3) Corrente da carga



Perfil de carga de um dia de funcionamento característico

Características do banco de baterias de acordo com o dimensionamento

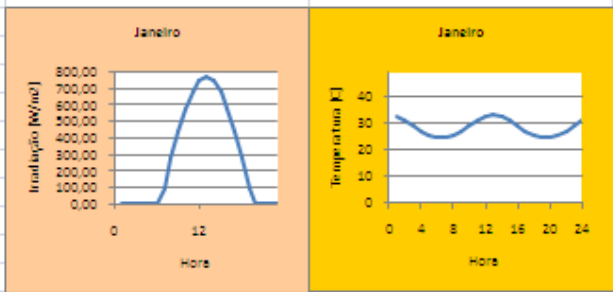
1 - Meteorologia (exemplo mês de Janeiro)

Grandeza que permitira calcular a Energia
diária e a Temperatura média diária

			Jan	
dia central				15,00
declinação				-21,30
Ws				97,94
hora de nascer sol				5,47
hora de pôr do sol				18,53
duração do dia[h]				13,06
Tam-Temperatura mínima média				24,10
TaM-Temperatura mínima máxima				32,70
hora solar	w		G [W/m2]	T amb [C]
		G [W/m2] Max	767,45	
0	-180		0,00	32
1	-165		0,00	31
2	-150		0,00	29
3	-135		0,00	27
4	-120		0,00	25
5	-105		0,00	24
6	-90		97,44	24
7	-75		276,01	25
8	-60		438,69	27
9	-45		576,09	29
10	-30		680,32	31
11	-15		745,35	32
12	0		767,45	33
13	15		745,35	32
14	30		680,32	31
15	45		576,09	29
16	60		438,69	27
17	75		276,01	25
18	90		97,44	24
19	105		0,00	24
20	120		0,00	25
21	135		0,00	27
22	150		0,00	29
23	165		0,00	31
Energia diária [kWh/m2]		Temperatuda MEDIA diária [C]	6,40	28,07

Cálculo de acordo com ângulo
da hora solar

Representação gráfica



2.1 – Características do Módulo

Grandezas que caracterizam os módulos PV dimensionados

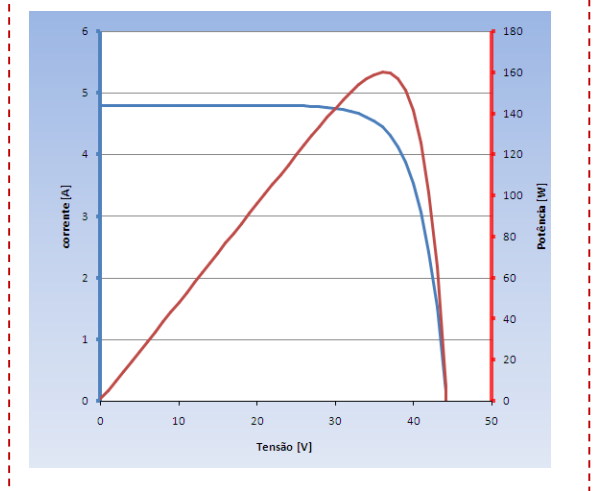
Parâmetro	Valor	Unidade					
Isc	4,8	[A]	Corrente Curto Circuito		Tamb	298	[K] Temperatura ambiente
Voc	44,2	[V]	Tensão circuito aberto		Gsol	1000	[W/m ²] Radiação Solar
NOCT	47	[°C]	Temperatura de operação nominal da célula				no plano do colector
Rs	5,00E-01	[ohm]	Resistência série		Tcelula	332	[K]
q	1,60218E-19	[C]	Carga do electrão		IscG	4,8	A
K	1,38E-23	[J/K]	Constante de Boltzman				
f	34		factor de ajuste		Isc/1000	0,005	
Vt	5,15E-02	[V]	Potencial térmico de referência		N. módulos paralelo	11	
					N. módulos série	2	

V [V]	I1 [A]	I2 [A]	P [W]
0	4,80	4,80	1
1	4,80	4,80	5
2	4,80	4,80	10
3	4,80	4,80	14
4	4,80	4,80	19
5	4,80	4,80	24
6	4,80	4,80	29
7	4,80	4,80	34
8	4,80	4,80	38
9	4,80	4,80	43
10	4,80	4,80	48
11	4,80	4,80	53
12	4,80	4,80	58
13	4,80	4,80	62
14	4,80	4,80	67
15	4,80	4,80	72
16	4,80	4,80	77
17	4,80	4,80	82
18	4,80	4,80	86
19	4,80	4,80	91
20	4,80	4,80	96
21	4,80	4,80	101
22	4,80	4,80	106
23	4,79	4,79	110
24	4,79	4,79	115
25	4,79	4,79	120
26	4,79	4,79	124
27	4,78	4,78	129
28	4,77	4,77	134
29	4,76	4,76	138
30	4,75	4,75	142
31	4,73	4,73	147
32	4,70	4,70	150
33	4,66	4,66	154
34	4,61	4,61	157
35	4,54	4,54	159
36	4,44	4,44	160
37	4,31	4,31	160
38	4,13	4,13	157
39	3,88	3,88	151
40	3,54	3,54	141
41	3,06	3,06	126
42	2,41	2,41	101
43	1,52	1,52	65
44	0,30	0,30	13
44,1	0,15	0,15	7
44,2	0,00	0,00	0

→ **Isc=4,8 A**

NOTA: Cálculo intermédio de I2
garante que a corrente do módulo PV
nunca é negativa.

Representação gráfica do módulo PV



P = 160 W

→ **Potência máxima do
módulo PV otimizada
através do factor de ajuste**

→ **Voc=44,2 V**

2.2 – Corrente PV (exemplo Janeiro)

Janeiro											
hora solar	G [W/m ²]	Tamb [C]	Vbat [V]	Vmod [V]	Tcelula [K]	Vt [V]	Voc	Corrente do array		Ppv [W]	Pmod [W]
0	0	32	0,00	0,00	305	0,0263	44,20	0,0	0,0	0	0
1	0	31	53,88	26,94	304	0,0262	44,20	0,0	0,0	0	0
2	0	29	53,81	26,90	302	0,0260	44,20	0,0	0,0	0	0
3	0	27	53,73	26,87	300	0,0258	44,20	0,0	0,0	0	0
4	0	25	53,66	26,83	298	0,0257	44,20	0,0	0,0	0	0
5	0	24	53,59	26,79	297	0,0256	44,20	0,0	0,0	0	0
6	97	24	53,55	26,78	300	0,0259	44,20	5,1	5,1	276	13
7	276	25	53,69	26,84	307	0,0265	44,20	14,6	14,6	782	36
8	439	27	54,09	27,04	315	0,0271	44,20	23,2	23,2	1253	57
9	576	29	54,54	27,27	321	0,0277	44,20	30,4	30,4	1659	75
10	680	31	54,90	27,45	327	0,0282	44,20	35,9	35,9	1972	90
11	745	32	55,12	27,56	330	0,0285	44,20	39,4	39,4	2169	99
12	767	33	55,24	27,62	332	0,0286	44,20	40,5	40,5	2238	102
13	745	32	53,89	26,95	330	0,0285	44,20	39,4	39,4	2121	96
14	680	31	55,22	27,61	327	0,0282	44,20	35,9	35,9	1984	90
15	576	29	53,43	26,71	321	0,0277	44,20	30,4	30,4	1625	74
16	439	27	54,09	27,04	315	0,0271	44,20	23,2	23,2	1253	57
17	276	25	54,03	27,01	308	0,0265	44,20	14,6	14,6	787	36
18	97	24	53,78	26,89	301	0,0259	44,20	5,1	5,1	277	13
19	0	24	53,93	26,96	297	0,0256	44,20	0,0	0,0	0	0
20	0	25	53,78	26,89	298	0,0257	44,20	0,0	0,0	0	0
21	0	27	53,69	26,85	300	0,0258	44,20	0,0	0,0	0	0
22	0	29	53,62	26,81	302	0,0260	44,20	0,0	0,0	0	0
23	0	31	53,55	26,77	304	0,0262	44,20	0,0	0,0	0	0
Ppv Max [W]										2238,4	

Potência diária dos módulos PV em Janeiro

3 - Banco de baterias (exemplo Janeiro e Fevereiro)

Grandezas que caracterizam o banco de baterias

Capacidade nominal C [Ah]	550
Rint da bateria [ohm]	0,0015
epsilon0 - tensão de equilíbrio por elemento	1,75
coeficiente a	0,5
N.elementos em série	24
Tensão nominal da bateria	48

Actualizar SOC

Permite actualizar
o SOC inicial em
cada mês

SOC inicial do
processo

	Janeiro			Fevereiro		
hora solar	Ibat [A]	Vbat [V]	SOC	Ibat [A]	Vbat [V]	SOC
			1,00			0,99
0	-3,36	53,88	0,99	-3,36	53,78	0,99
1	-3,36	53,81	0,99	-3,36	53,71	0,98
2	-3,36	53,73	0,98	-3,36	53,64	0,97
3	-3,36	53,66	0,98	-3,36	53,57	0,97
4	-3,36	53,59	0,97	-3,36	53,49	0,96
5	-2,31	53,55	0,97	-2,31	53,46	0,96
6	2,83	53,69	0,97	0,61	53,51	0,96
7	12,26	54,09	0,99	9,49	53,84	0,98
8	17,29	54,54	1,00	14,10	54,22	1,00
9	25,07	54,90	1,00	21,55	54,78	1,00
10	31,00	55,12	1,00	27,25	54,98	1,00
11	34,43	55,24	1,00	30,55	55,10	1,00
12	-2,94	53,89	0,99	33,66	55,21	1,00
13	35,79	55,22	1,00	-3,57	53,87	0,99
14	-15,96	53,43	0,97	16,22	54,51	1,00
15	12,11	54,09	0,99	8,59	54,31	1,00
16	3,14	54,03	1,00	-0,05	54,00	1,00
17	-5,66	53,78	0,99	-8,43	53,70	0,98
18	1,79	53,93	0,99	-0,43	53,80	0,98
19	-3,36	53,78	0,99	-3,36	53,68	0,98
20	-3,77	53,69	0,98	-3,77	53,60	0,97
21	-3,57	53,62	0,97	-3,57	53,52	0,96
22	-3,36	53,55	0,97	-3,36	53,45	0,96
23	-3,36	53,47	0,96	-3,36	53,38	0,95
1			0,96			0,95
N. Dias no Mês			31			28
I bat Max [A]	35,79			33,66		
V bat Max [V]		55,24			55,21	
V bat Min [V]		53,43			53,38	

SOC final do mês e
inicial para o
cálculo do mês
seguinte

Algoritmo *SOCinicial*

```
Mod_Beira_Sm.xls - Module1 (Code)
(General)

Sub AtualizaSoc_Clique()

    Dim strSql As String
    Dim DiasnoMes As Double
    Dim Dia As Double
    Dim SOCinicial As Double
    Dim SOCfinal As Double

    With ActiveSheet

        coluna = 4

        While (coluna <= 37)

            DiasnoMes = .Cells(41, coluna)
            Dia = 1
            .Cells(15, coluna) = 1
            While Dia <= DiasnoMes
                .Cells(15, coluna) = SOCfinal + 0.04
                SOCfinal = .Cells(39, coluna)

                If .Cells(15, coluna) > 1 Then
                    .Cells(15, coluna) = 1
                End If

                Dia = Dia + 1
            Wend
            coluna = coluna + 3
        End While
    End With
End Sub
```

**Declaração das
variáveis**

**Coluna de Excel onde se
aplica o cálculo**

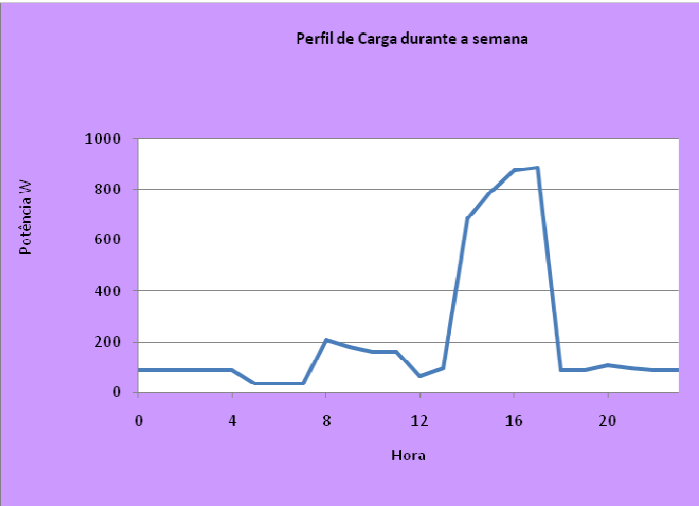
**Ciclos "While" para se
obter o SOCfinal
tendo em conta o
estado do SOCinicial**

**Nota: aproximação ao erro cometido pela não
inclusão dos dias em que a Unidade Sanitária é
caracterizada por perfis de carga durante o fim de
semana.**

4 - Corrente Cargas

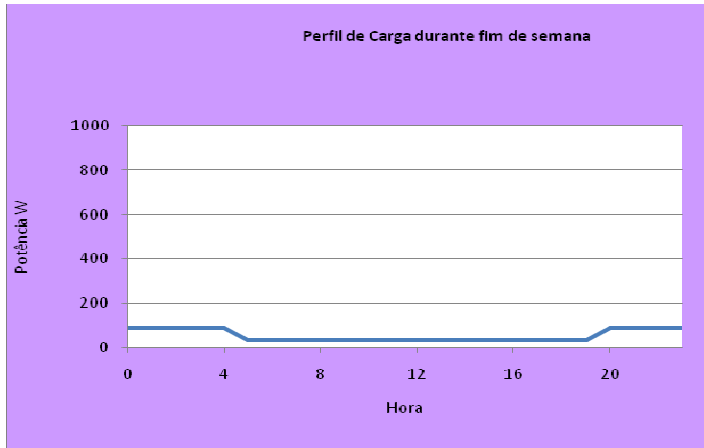
Funcionamento num dia de actividade da unidade sanitaria (durante a semana)

hora solar	icarga [A]	P carga [W]
0	1,82	87,50
1	1,82	87,50
2	1,82	87,50
3	1,82	87,50
4	1,82	87,50
5	0,78	37,50
6	0,78	37,50
7	0,78	37,50
8	4,32	207,50
9	3,80	182,50
10	3,39	162,50
11	3,39	162,50
12	1,41	67,50
13	2,03	97,50
14	14,26	684,50
15	16,55	794,50
16	18,22	874,50
17	18,43	884,50
18	1,82	87,50
19	1,82	87,50
20	2,24	107,50
21	2,03	97,50
22	1,82	87,50
23	1,82	87,50
Ptotal [W]		5223,00



Funcionamento num dia de inactividade da unidade sanitaria (fim de semana)

hora solar	icarga [A]	P carga [W]
0	1,82	87,50
1	1,82	87,50
2	1,82	87,50
3	1,82	87,50
4	1,82	87,50
5	0,78	37,50
6	0,78	37,50
7	0,78	37,50
8	0,78	37,50
9	0,78	37,50
10	0,78	37,50
11	0,78	37,50
12	0,78	37,50
13	0,78	37,50
14	0,78	37,50
15	0,78	37,50
16	0,78	37,50
17	0,78	37,50
18	0,78	37,50
19	0,78	37,50
20	1,82	87,50
21	1,82	87,50
22	1,82	87,50
23	1,82	87,50



5 - Inversor

Grandezas que caracterizam o Inversor

Potencia nominal [W]	3000		Qui	1,69E-05
Rendimento a Pnom. [%]	93		PO	73,48
Rendimento a 10 % de Pnom. [%]	80			
Tensão de entrada [V]	48			

**Corrente da carga tendo
em conta o rendimento do
inversor**

**Potência de saída do
inversor**

Funcionamento num dia de actividade da unidade sanitaria (durante a semana)						
hora solar	icarga [A]	io [A]	P [W]		P perdas no Inv.	Rendimento do Inversor
0	1,82	3,36	87,50		73,61	0,54
1	1,82	3,36	87,50		73,61	0,54
2	1,82	3,36	87,50		73,61	0,54
3	1,82	3,36	87,50		73,61	0,54
4	1,82	3,36	87,50		73,61	0,54
5	0,78	2,31	37,50		73,50	0,34
6	0,78	2,31	37,50		73,50	0,34
7	0,78	2,31	37,50		73,50	0,34
8	4,32	5,87	207,50		74,21	0,74
9	3,80	5,34	182,50		74,04	0,71
10	3,39	4,93	162,50		73,92	0,69
11	3,39	4,93	162,50		73,92	0,69
12	1,41	2,94	67,50		73,55	0,48
13	2,03	3,57	97,50		73,64	0,57
14	14,26	15,96	684,50		81,41	0,89
15	16,55	18,31	794,50		84,16	0,90
16	18,22	20,02	874,50		86,42	0,91
17	18,43	20,23	884,50		86,72	0,91
18	1,82	3,36	87,50		73,61	0,54
19	1,82	3,36	87,50		73,61	0,54
20	2,24	3,77	107,50		73,67	0,59
21	2,03	3,57	97,50		73,64	0,57
22	1,82	3,36	87,50		73,61	0,54
23	1,82	3,36	87,50		73,61	0,54

6 – Regulador de Carga

Estado inicial

	janeiro		fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro	
hora solar	SCPV	SCCARGA	SCPV	SCCARGA	SCPV	SCCARGA	SCPV	SCCARGA	SCPV	SCCARGA	SCPV	SCCARGA	SCPV	SCCARGA	SCPV	SCCARGA	SCPV	SCCARGA	SCPV	SCCARGA	SCPV	SCCARGA	SCPV	SCCARGA
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
12	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
13	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nr. de vezes que sistema falha/ dia		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0
N. horas de falha/mês		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0
N. horas de PV OFF/ mÊs	62		28		0		0		0		0		0		0		0		31		30		62	

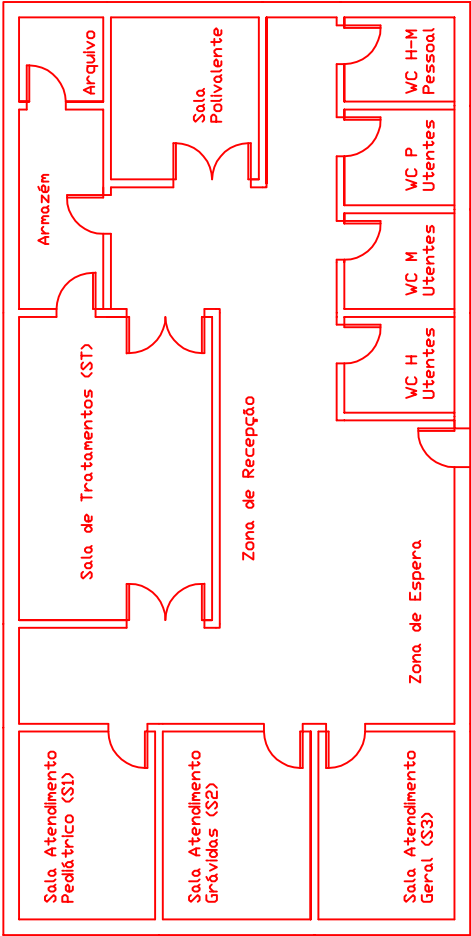
Análise de Resultados

Mês	Energia diária [kWh/m2]	Temperatuda MEDIA diária [C]	P max [W] Modulos	Ibat max [A]	Nº horas de Falhas da Carga	Nº horas de Corte do PV
Janeiro	6,40	28,07	2238,39	35,79	0	62
Fevereiro	5,59	28,21	2016,85	33,66	0	28
Março	4,85	26,83	1829,58	30,34	0	0
Abril	3,75	26,36	1473,06	23,98	0	0
Maio	2,72	23,51	1092,67	17,35	0	0
Junho	2,16	23,25	769,74	13,53	0	0
Julho	2,44	20,30	910,89	15,51	0	0
Agosto	3,25	23,37	1288,14	20,78	0	0
Setembro	4,41	22,92	1696,63	27,97	0	0
Outubro	5,50	24,76	2018,69	33,70	0	31
Novembro	6,21	26,00	2190,98	34,96	0	30
Dezembro	6,48	26,72	2250,96	36,02	0	62

ANO	Percentagem de falhas da carga	0,00%
	Percentagem de corte dos módulos	2,43%

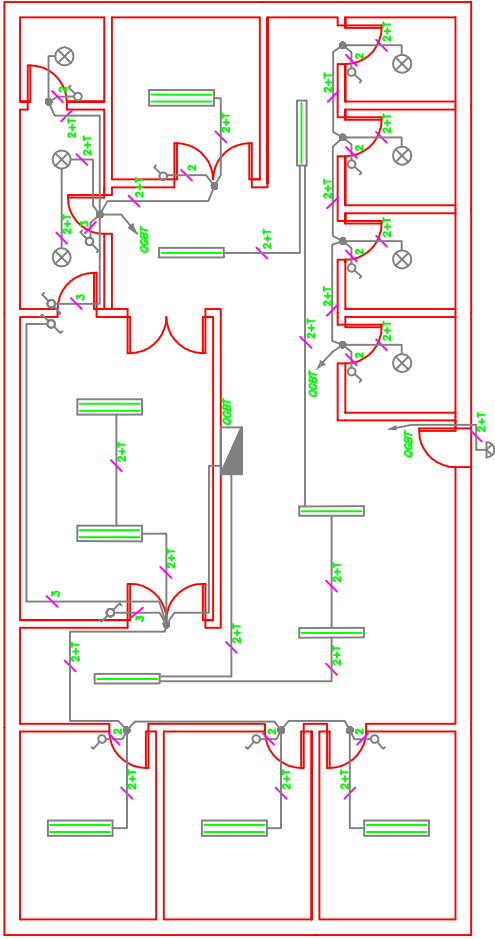
ANEXO

Anteproyecto



Cruz Vermelha de Moçambique

Buzi	FASE: ESTUDO	JANEIRO 2009	00-A
	INFRAESTRUTURAS ELÉTRICAS	Escala 1:100	
	ARQUITECTURA	ESTUDO	
	UNIDADE SANITÁRIA (SOFALA)		



NOTAS / ESPECIFICAÇÕES:

- QUADRO ELÉCTRICO
- PONTO DE LUZ
- PONTO DE LUZ (APLIQUE)
- LÂMPADA FLUORESCENTE
- INTERRUPTOR
- COMUTADOR DE ESCADA
- CAIXA DE DERIVAÇÃO E/OU PASSAGEM

A instalação será efectuada com fio H07V-R e H07V-U, entalhadas em tubo VD ou VRM, de dimensões conforme o regulamento e técnica de boa execução.

Cruz Vermelha de Moçambique

Buzi

FASE: ESTUDO
INFRAESTRUTURAS ELÉCTRICAS
CIRCUITOS DE ILUMINAÇÃO

UNIDADE SANITÁRIA (SOFALA)

JANEIRO 2009
Escala 1:100
ESTUDO

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE INTELECTUAL DOS SEUS AUTORES, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, ALTERADO OU USADO PARA OUTRO FIM, A NÃO SER O PRECISAMENTE ACORDADO, SEM AUTORIZAÇÃO EXPRESSA DOS MESMOS.

Reserva todos os direitos

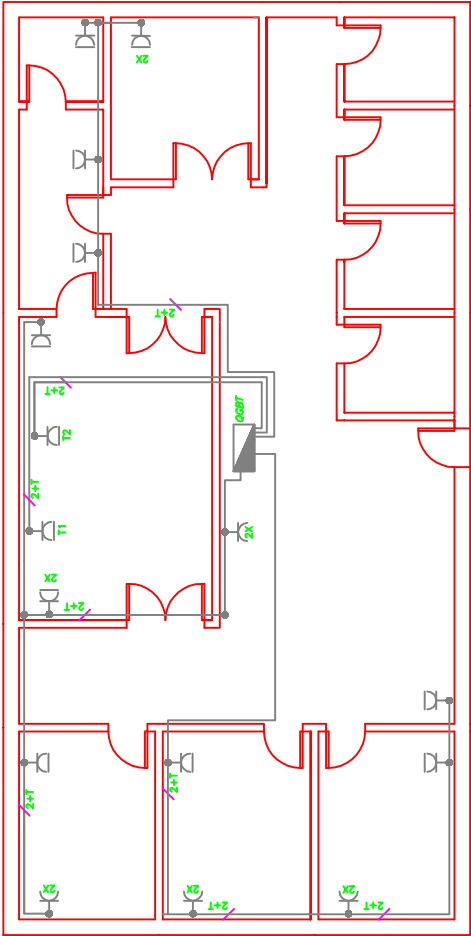
01-E

NOTAS / ESPECIFICAÇÕES:

-  - QUADRO ELÉCTRICO
-  - TOM. MONOF. C/ BORNE TERRA E ALVEOLOS PROT.
-  - TOM. MONOF C/ BORNE TERRA
-  - CAIXA DE DERIVAÇÃO E/OU PASSAGEM

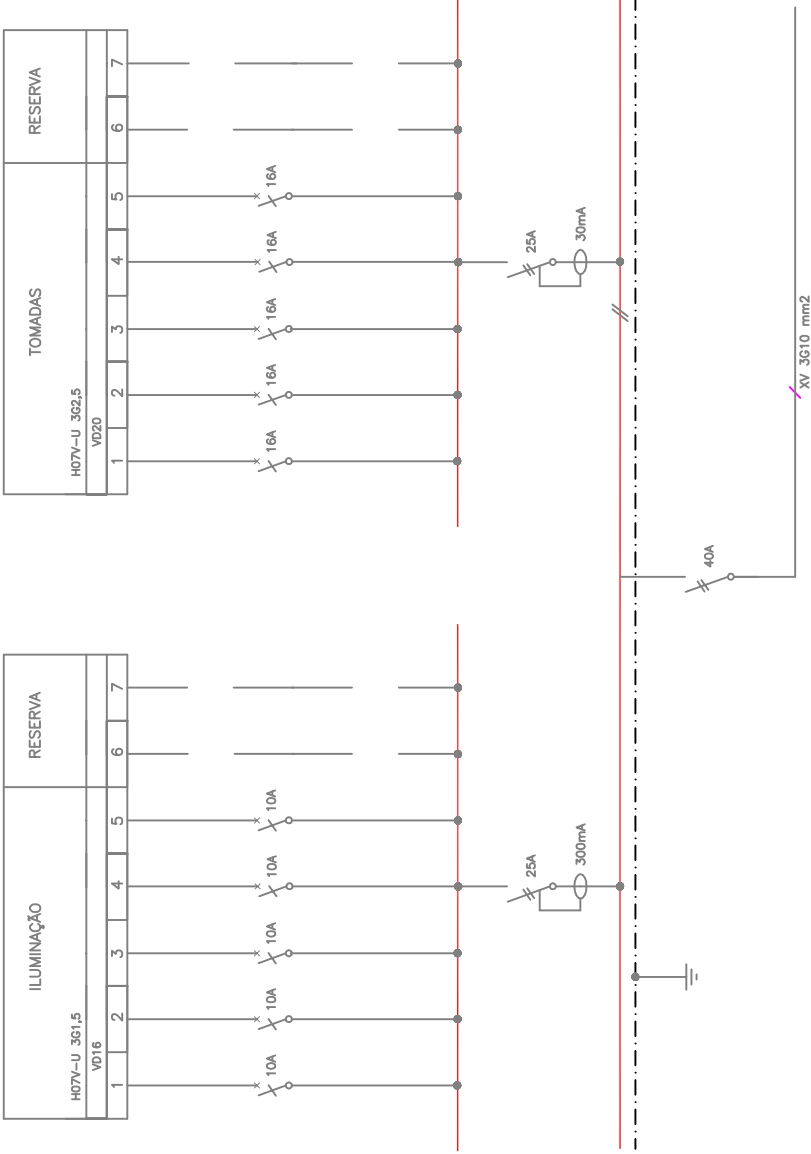
A instalação será efectuada c/ condutores H07V-R e H07V-U, cabo A07W-U e A07W-F, com o número de condutores indicado, e enfiados em tubo VD ou VRM, de dimensões conforme o regulamento e técnica de boa execução.

Para uma descrição mais detalhada das classificações e volumes, consultar peças descritas.



Cruz Vermelha de Moçambique

QUADRO ELECTICO US – QE



Cruz Vermelha de Moçambique